



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ÚPRAVA OBRÁBĚCÍHO PROCESU ROZMĚRNÉ SOUČÁSTI Z ČERPADLA

CHANGE IN THE PRODUCTION OF OVERSIZE COMPONENTS OF THE
PUMP

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ZDENĚK KRATOCHVÍL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILAN KALIVODA

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Zdeněk Kratochvíl

který/která studuje v bakalářském studijním programu

obor: Strojírenská technologie (2303R002)

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Úprava obráběcího procesu rozměrné součásti z čerpadla

v anglickém jazyce:

Change in the Production of oversize Components of the Pump

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod.
2. Konstruktivní rozbor čerpadla.
3. Stávající technologický proces.
4. Návrh úpravy technologie včetně dodávky nového stroje.
5. Další možnosti využití nového stroje.
6. Technicko-ekonomické podmínky realizace 1. etapy řešení ve firmě.
7. Diskuze.
8. Závěr.

Cíle bakalářské práce:

Realizace úpravy technologie na základě konstrukčně-funkčního rozboru montážního celku.

Seznam odborné literatury:

1. PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing, s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
3. ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.
4. HLAVENKA, Bohumil. Manipulace s materiálem: Systémy a prostředky manipulace s materiálem. 4. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2008. 163 s. ISBN 978-80-214-3607-7.
5. FREIBAUER, Martin, Hana VLÁČILOVÁ a Milena VILÍMKOVÁ. Základy práce v CAD systému SolidWorks. 2. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2010. 326 s. ISBN 978-80-251-2504-5.
6. PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 21.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem metody provedení konstrukční úpravy na přítlačné přírubě provozovaného hlavního cirkulačního čerpadla, a to v době provádění jeho generální opravy při odstávce bloku. Tato konstrukční úprava spočívá ve vysoustružení čelní drážky na průměru 850 mm s vhodně zvoleným rádiusem o maximálně výrobně možném hladkém zaoblení zhotovené drážky bez vrubů, aby se snížila koncentrace napětí v rozích drážky. V práci jsou posouzeny možnosti zhotovení této úpravy a poté vybrána technologie úpravy s kontrolními výpočty krouticího momentu. Vybraná technologie spočívá v obrobení drážky mobilním, číslicově řízeným obráběcím soustruhem EFCO TDF-2 NC, což je zdokumentováno při vysoustružení této axiální drážky. V závěru jsou popsány další možnosti využití tohoto mobilního obráběcího stroje v primárním okruhu jaderné elektrárny.

Klíčová slova

Jaderná elektrárna, primární okruh, mobilní obráběcí soustruh, krouticí moment, čelní drážka

ABSTRACT

The thesis proposes a method for implementing structural changes on the compression flange of the main circulation pump, at the time of its overhaul during the unit outage. This structural modification consists in Annular groove of the groove to a diameter of about 850 mm. It is necessary to choose a suitably radius of maximum made possible smoothly rounded grooves without notches to reduce the stress of the concentration at the corners of the groove. Possibilities for making this adjustment are considered in this thesis and then the technology is selected with control torque calculations. The selected technology consists in the sizing of grooves with the mobile numerically controlled machining lathe EFCO TDF-2 NC, which is documented in the Annular groove of the axial grooves. In conclusion there are described other possibilities of using of this mobile machine in the primary circuit of a nuclear power plant.

Key words

Nuclear power plant, primary circuit, mobile machining lathe, torque, axial groove

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KRATOCHVÍL, Zdeněk. *Úprava obráběcího procesu rozměrné součásti z čerpadla*. Brno 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 46 s. 3 přílohy. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Úprava obráběcího procesu rozměrné součásti z čerpadla** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

17. 5. 2015

Datum

Zdeněk Kratochvíl

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Milanu Kalivodovi z VUT v Brně za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

Děkuji tímto také své rodině za psychickou podporu v průběhu celého studia.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 TECHNICKÝ POPIS JADERNÉ ELEKTRÁRNY S TLAKOVODNÍM REAKTOREM VVER 440/213.....	10
1.1 Popis hlavní technologie primárního okruhu jaderné elektrárny s tlakovodním reaktorem VVER 440/213	11
1.1.1 Konstrukční rozbor hlavního cirkulačního čerpadla.....	13
2 LEGISLATIVA SPOJENÁ S DOZOREM NAD JADERNOU A TECHNICKOU BEZPEČNOSTÍ PŘI OPRAVÁCH ZAŘÍZENÍ	16
2.1 Vyhláška 132/2008 Sb.	16
2.2 Vyhláška 309/2005 Sb.	16
2.3 Vyhláška 307/2002 Sb.	17
2.4 Bezpečnostní návod JB-2.1 - Řízení stárnutí zařízení jaderných elektráren	17
2.5 Normativně Technické Dokumentace A.S.I. (NTD A.S.I.).....	18
3 STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGICKÝ PROCES, ROZBOR PROBLÉMU A NÁVRH JEHO ŘEŠENÍ.....	19
3.1 Popis možných variant řešení problému	19
3.2 Návrh řešení problému a popis součástí	20
3.3 Požadované parametry mobilního obráběcího zařízení	22
3.4 Popis vybraného mobilního obráběcího zařízení.....	22
3.5 Obecné obrábění korozivzdorných ocelí	25
3.6 Výběr nástrojů pro obrobení přitlačné příruby	25
3.7 Řezná síla, měrná řezná síla a krouticí moment při obrábění	28
3.8 Zhodnocení výsledků.....	30
3.9 Výpočet posuvu na otáčku při původní konfiguraci převodovky soustruhu	31
3.10 Výpočet posuvu na otáčku s novou konfigurací převodovky soustruhu	31
3.11 Dílčí závěr.....	32
4 VYUŽITÍ MOBILNÍHO OBRÁBĚCÍHO STROJE V PRAXI	33
4.1 Obrábění čelní drážky na přitlačné přírubě HCČ	33
5 DALŠÍ VYUŽITÍ MOBILNÍHO OBRÁBĚCÍHO STROJE	38
5.1 Úprava rozváděcího kola HCČ	38
5.2 Úprava těsnicí plochy trubkovnice tepelného výměníku.....	39

5.3 Dílčí závěr.....	40
6 DISKUZE	41
6.1 Výběr techniky s ohledem na dobu opravy zařízení.....	41
6.2 Nepřímé sledování trvanlivosti VBD a řezných podmínek při obrábění.....	41
ZÁVĚR	42
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	43
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	44
SEZNAM PŘÍLOH.....	46

ÚVOD

Při údržbě zařízení na jaderné elektrárně v prostorách primárního okruhu nastane často potřeba obrobit určitý díl zařízení, a to z důvodu opravy poškozené části nebo úpravy nevhodně zvolených konstrukčních uzlů. Tato součást může být ale kontaminována primárním chladivem nebo pevně zabudována do technologie primárního okruhu. Pokud se bude jednat o menší součást, tak je možné tuto úpravu provést na mechanických dílnách v kontrolovaném pásmu, ale pokud je díl větších rozměrů nebo pevně zabudován do technologie, tak nejsme schopni některé úpravy uskutečnit. Jako příklad lze uvést přítlačnou přírubu hlavního cirkulačního čerpadla o hmotnosti 5000 kg, kde je potřeba provést konstrukční úpravu nebo opravu těsnicí plochy tepelného výměníku systému TQ, který je napevno připojen k navazující technologii.

Obsahem této práce je proto popis možnosti opravy těchto dílů obráběním v prostorách primárního okruhu. V první části je popsána vlastní jaderná elektrárna, primární okruh a dotčené zařízení, na kterém budou úpravy provedeny. Poté jsou zhodnoceny možné varianty oprav součástí, popis vybraného řešení a také je zmíněna dotčená legislativa týkající se jaderné a technické bezpečnosti při opravách zařízení.

V druhé části je řešeno obrábění uvedených částí mobilním, číslicově řízeným obráběcím strojem, kde jsou blíže specifikovány jednotlivé konstrukční úpravy na těchto dílech.

1 TECHNICKÝ POPIS JADERNÉ ELEKTRÁRNY S TLAKOVODNÍM REAKTOREM VVER 440/213

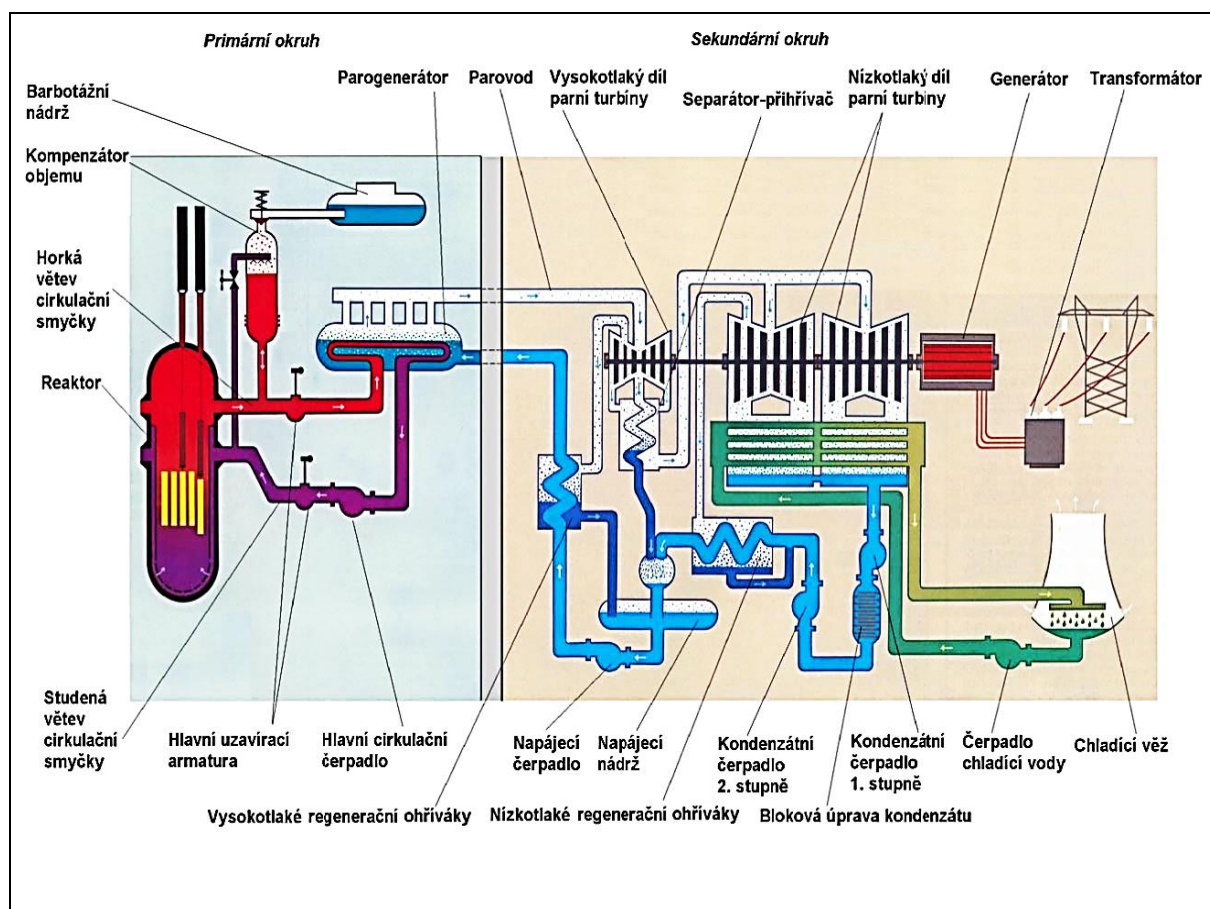
Obsahem této práce je řešení technologie opravy rozměrné součásti obráběním, a to v prostorách primárního okruhu jaderné elektrárny Dukovany (EDU), kdy tento dílec může být kontaminovaný primárním chladivem nebo pevně zabudován do technologie primárního okruhu. Proto je v této kapitole nejdříve popsána vlastní jaderná elektrárna, primární okruh a dotčené zařízení, na kterém budou úpravy provedeny a poté teprve vlastní řešení úlohy.

V Jaderné elektrárně Dukovany, která je v provozu od roku 1985, jsou instalovány čtyři tlakovodní reaktory (PWR). Projektové označení těchto reaktorů je VVER 440/213. VVER znamená Vodou chlazený, Vodou moderovaný Energetický Reaktor. Každý ze čtyř reaktorů má tepelný výkon 1375 MW a disponuje elektrickým výkonem 510 MW.

Elektrárna je uspořádána do dvou hlavních výrobních bloků. V každém z nich jsou dva reaktory se všemi přímo souvisejícími zařízeními včetně strojovny s turbínami a generátory [1].

Jaderná elektrárna s tlakovodním reaktorem typu VVER 440, představuje z hlediska přenosu tepla elektrárnu se dvěma hlavními okruhy (obr. 1.1):

- primárním okruhem (I. O.),
- sekundárním okruhem (II. O.).



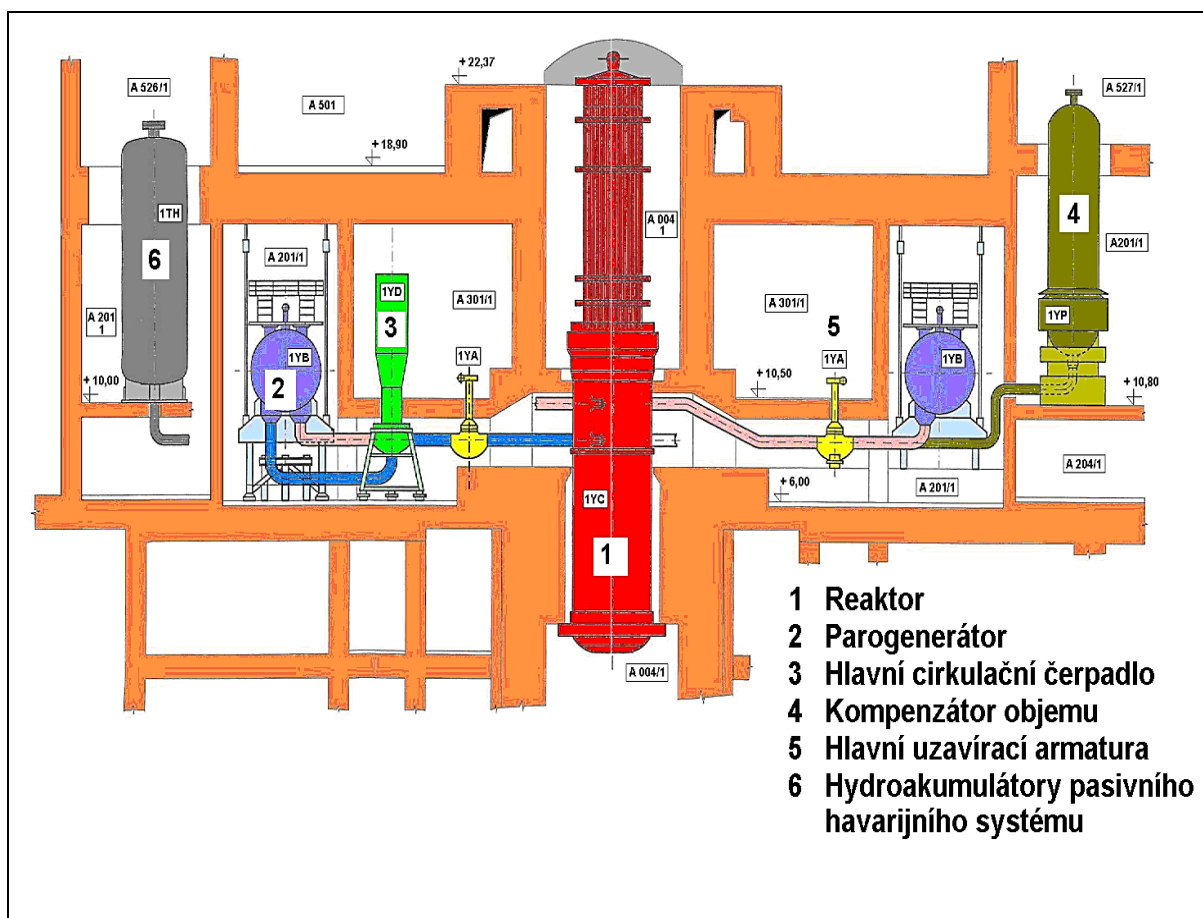
Obr. 1.1 Principiální tepelné schéma JE s reaktorem VVER 440 [2].

1.1 Popis hlavní technologie primárního okruhu jaderné elektrárny s tlakovodním reaktorem VVER 440/213

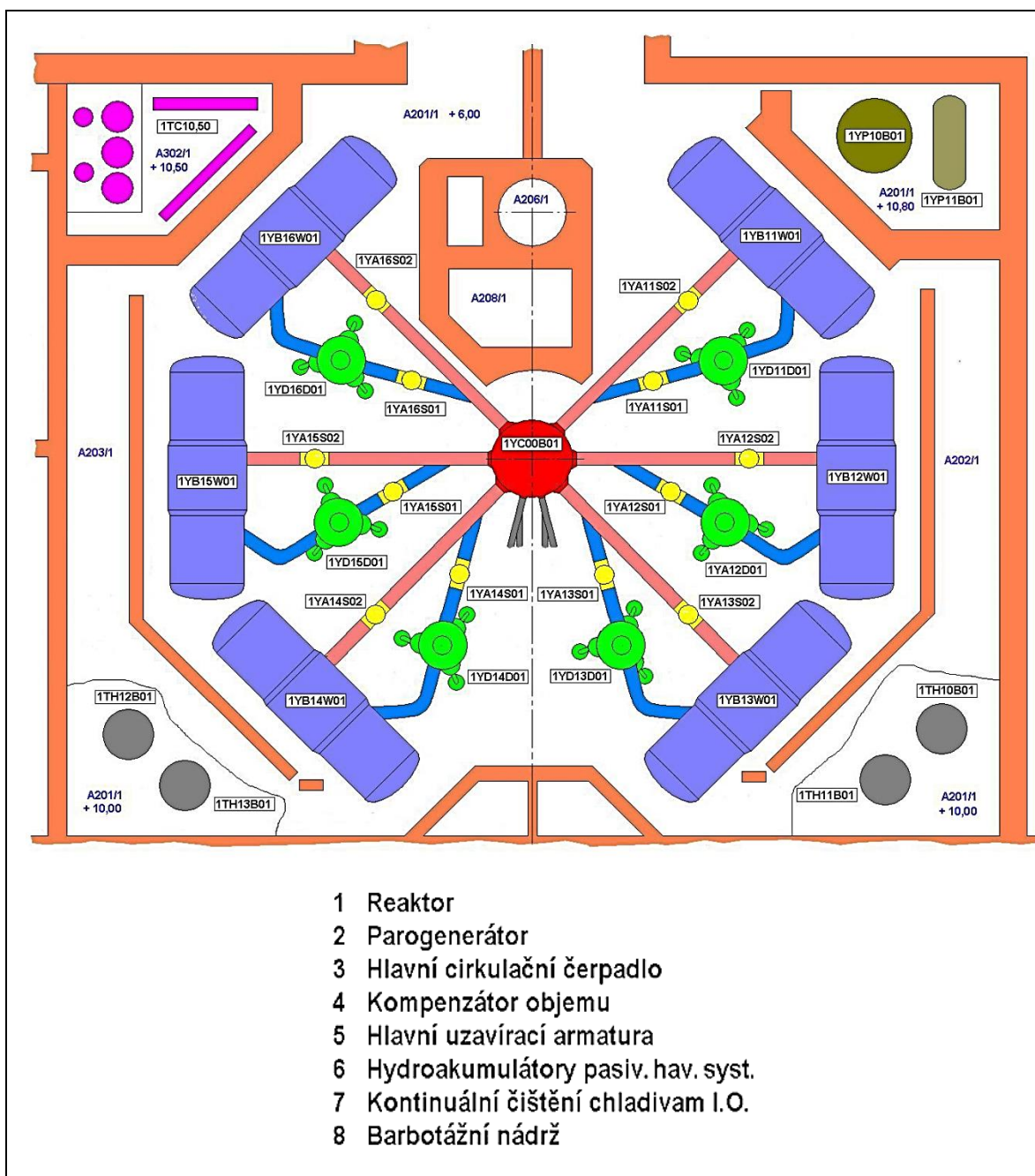
Primární okruh jaderné elektrárny je systém zařízení, který umožňuje získávat tepelnou energii z jaderného paliva prostřednictvím řízené štěpné řetězové reakce. Hlavní komponenty primárního okruhu s reaktorem typu VVER 440/213 jsou [3]:

- tlakovodní reaktor typu V-213,
- parogenerátor,
- hlavní cirkulační čerpadlo (HCCČ),
- hlavní uzavírací armatury (HUA),
- kompenzátor objemu,
- hlavní cirkulační potrubí (HCP),
- hydroakumulátory.

Primární okruh jaderné elektrárny (obr. 1.2 a obr.1.3) obsahuje základní zařízení, která umožňují přeměnu jaderné energie na tepelnou a její přenos z primárního do sekundárního okruhu [3].



Obr. 1.2 Dispoziční schéma primárního okruhu JE VVER 440 s reaktorem V-213 [2].



Obr. 1.3 Dispoziční schéma primárního okruhu JE VVER 440 s reaktorem V-213 [2].

Přeměnu jaderné energie na tepelnou zabezpečuje tlakovodní jaderný reaktor pomocí řízené štěpné řetězové reakce – štěpením jader izotopu uranu U^{235} , které jsou obsaženy v keramických palivových tabletách. Palivové tablety jsou uloženy v hermeticky uzavřených palivových článcích, které jsou umístěny v obálkových palivových kazetách. Palivové kazety vytváří aktivní zónu (AZ) reaktoru. Štěpením jader U^{235} se AZ zahřívá (zahřívá se povrch palivových článků). Aktivní zónou proudí chladivo primárního okruhu (proudí palivovou kazetou kolem palivových článků) a ohřívá se. Chladivo primárního okruhu je demineralizovaná voda s obsahem H_3BO_3 [3].

Odvod tepla z AZ reaktoru je za normálního provozu zabezpečen nucenou cirkulací chladiva cirkulačními smyčkami primárního okruhu. Chladivo ohřáté v AZ proudí horkou větví cirkulační smyčky do parogenerátoru, kde předává teplo vzniklé štěpením napájecí vodě II.O., která se mění na páru. Ochladené chladivo proudí pomocí hlavního cirkulačního čerpadla z parogenerátoru studenou větví cirkulační smyčky zpět do reaktoru pod AZ. Prouděním zdola nahoru se chladivo v AZ opět ohřívá a vystupuje znovu do horké větve cirkulační smyčky [3].

Cirkulační smyčka tedy spojuje reaktor s parogenerátorem a dělí se na dvě větve:

- horkou s HUA, kde dosahuje teplota chladiva $297 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
- studenou s HCC a HUA, kde dosahuje teplota chladiva $267 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

1.1.1 Konstrukční rozbor hlavního cirkulačního čerpadla

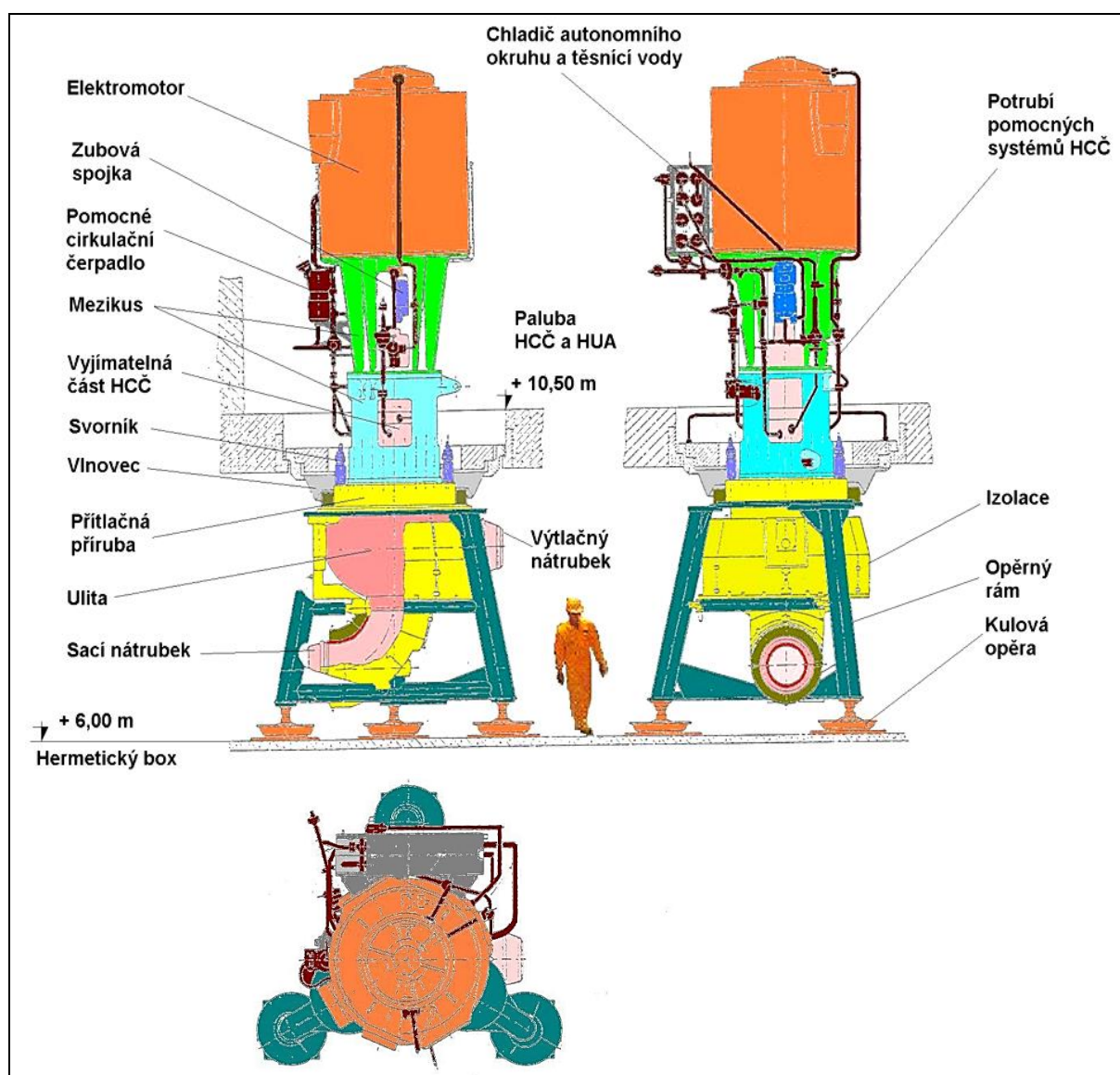
Hlavní cirkulační čerpadlo zajišťuje pomocí nucené cirkulace chladiva primárním okruhem přenos tepelné energie z aktivní zóny reaktoru do teplosměnné plochy parogenerátoru. V souladu s tepelným výkonem reaktoru zajišťuje ve všech režimech provozu bloku potřebné průtočné množství chladiva aktivní zónou reaktoru. V primárním okruhu jednoho reaktorového bloku je nainstalováno šest HCC [3].

HCC je vertikální, odstředivé, jednostupňové čerpadlo s mechanickým těsněním hřídele, letmo uloženým oběžným kolem, vnějším elektromotorem a pomocnými systémy zabezpečujícími normální práci HCC. Základní nosnou konstrukcí čerpadla (obr. 1.4) je svařovaný opěrný rám, opírající se o tři kulové opory, což umožňuje posuv HCC v souladu s tepelnou dilatací hlavního cirkulačního potrubí [3].

Na opěrném rámu je osazeno svařované těleso hydraulické části čerpadla (ulita) s tepelnou izolací, do které se montuje vlastní čerpadlo (vyjímatelná část) [3].

Vyjímatelná část HCC (obr. 1.5) se skládá z [3]:

- hřídele,
- oběžného kola,
- převodního zařízení (rozděčícího kola),
- přitlačné příruby,
- bloku těsnění hřídele,
- nosného axiálního ložiska,
- elektromagnetického odlehčovacího zařízení,
- zarážecího ústrojí,
- pomocného oběžného kola,
- zubové spojky,
- těsnících prvků,
- spojovacích součástí.



Obr. 1.4 Hlavní cirkulační čerpadlo GCN - 317 [2].

Dělicí rovina mezi tělesem a přítlačnou přírubou je hermeticky zatěsněna plochým hřebenovým těsněním dotlačovaným do osazení v ulitě pomocí přítlačné přírubby a spojovacího materiálu (závrtné šrouby, matice, pružné talířové podložky). K dolní části přítlačné přírubby je pomocí šroubů připevněno rozváděcí kolo, jehož konstrukce umožňuje demontáž oběžného kola bez demontáže rozváděcího kola. Ve výkružku v horní části rozváděcího zařízení jsou upevněny lamely tepelné izolace, která plní funkci tepelného stínění dolního radiálního ložiska [3].

Letmo uložené oběžné kolo navlečené na drážkovanou část hřídele čerpadla je v horní a dolní části vystředěné pomocí kužele, který se opírá o matici.

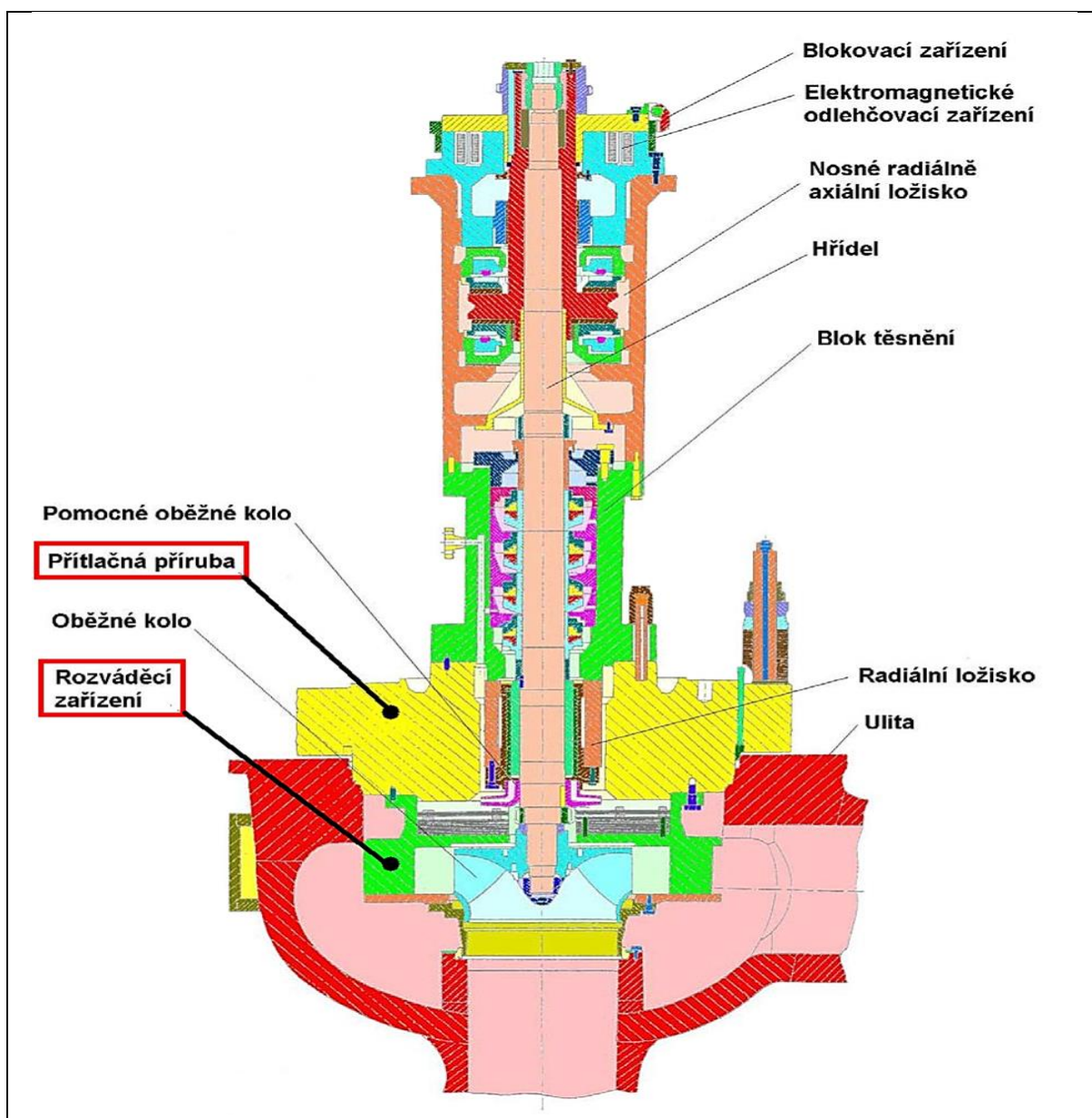
Hřídel čerpadla je uložena ve dvou ložiskách. Dolní radiální ložisko je mazané a chlazené vodou autonomního okruhu HCČ (chladičem I.O.). Cirkulace vody autonomního okruhu HCČ je zajištěna pomocným kolem a během tzv. „horké rezervy“ HCČ – pomocným cirkulačním čerpadlem (PCC). Pomocné oběžné kolo je umístěné na hřídeli pod dolním radiálním ložiskem. Takové umístění pomocného kola slouží jako

doplňující bariéra pro zabránění vniknutí horkého chladiva I.O. do dolního radiálního ložiska. Horní nosné radiálně axiální ložisko je chlazeno a mazáno turbínovým olejem TB32S, který je přiváděn z olejového hospodářství HCČ umístěného v obsluhované místnosti mimo hermetický box [3].

Pro snížení osových sil a zajištění spouštění elektromotoru HCČ při plném tlaku v I.O. je v horní části radiálně axiálního ložiska umístěné elektromagnetické odlehčovací zařízení.

Blok těsnění tvoří těleso, které je zároveň i tělesem dolního radiálního ložiska a mechanické ucpávky hydraulického typu.

Elektromotor HCČ je osazený na speciálním mezikuse, který se opírá o přítlačnou přírubu HCČ. Ložiska elektromotoru jsou mazaná turbínovým olejem TB32S z olejového hospodářství HCČ. Elektromotor je spojený s hřídelí čerpadla zubovou spojkou [3].



Obr. 1.5 Řez ulitou a vyjímatelnou částí hlavního cirkulačního čerpadla GCN - 317 [2].

2 LEGISLATIVA SPOJENÁ S DOZOREM NAD JADERNOU A TECHNICKOU BEZPEČNOSTÍ PŘI OPRAVÁCH ZAŘÍZENÍ

Při realizaci oprav vybraného zařízení jaderné elektrárny je velmi důležité dodržovat legislativu, která je popsána v této kapitole. Jsou zde uvedeny normativy asociace strojních inženýrů a legislativa Státního úřadu pro jadernou bezpečnost (SÚJB), které vychází ze zákona č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů. Pro účely tohoto zákona se činností související s využíváním jaderné energie mimo jiné rozumí [4]:

- umístování, výstavba, uvádění do provozu, provoz, rekonstrukce a vyřazování z provozu jaderných zařízení,
- projektování jaderných zařízení,
- navrhování, výroba, opravy a ověřování systémů jaderných zařízení nebo jejich součástí, včetně materiálů k jejich výrobě.

Z uvedeného zákona č. 18/1997 Sb. vyplývá, že i pro úpravu součástí primárního okruhu jaderné elektrárny jsou závazné níže uvedené vyhlášky SÚJB.

2.1 Vyhláška 132/2008 Sb.

Vyhláška SÚJB o systému jakosti při provádění a zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie a radiačních činností a o zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd [5].

Tato vyhláška upravuje:

- a) požadavky na systém jakosti při provádění nebo zajišťování činností souvisejících s využíváním jaderné energie nebo radiačních činností,
- b) požadavky na náplň programu zabezpečování jakosti,
- c) kritéria pro zařazení a rozdělení vybraných zařízení do bezpečnostních tříd,
- d) základní požadavky na zabezpečování jakosti vybraných zařízení s ohledem na jejich zařazení do bezpečnostních tříd a
- e) rozsah a způsob provedení seznamu vybraných zařízení.

2.2 Vyhláška 309/2005 Sb.

Vyhláška SÚJB o zajišťování technické bezpečnosti vybraných zařízení [6].

Tato vyhláška upravuje:

- a) způsob určení vybraných zařízení, která jsou speciálně navrhována pro jaderná zařízení,
- b) technické požadavky k zajištění technické bezpečnosti vybraných zařízení při výrobě a za provozu,
- c) postupy pro posuzování shody vybraných zařízení, která jsou speciálně navrhována pro jaderná zařízení, s technickými požadavky a
- d) způsob zajištění technické bezpečnosti vybraných zařízení v provozu.

2.3 Vyhláška 307/2002 Sb.

Vyhláška SÚJB o radiační ochraně [7].

Tato vyhláška upravuje:

- a) podrobnosti ke způsobu a rozsahu zajištění radiační ochrany při práci na pracovištích, kde se vykonávají radiační činnosti, včetně podrobností pro vymezení, označování a oznamování nebo schvalování sledovaných nebo kontrolovaných pásem na těchto pracovištích,
- b) podrobnosti k vykonávání činností v souvislosti s výkonem práce, které jsou spojeny se zvýšenou přítomností přírodních radionuklidů nebo se zvýšeným vlivem kosmického záření a vedou nebo by mohly vést k významnému zvýšení ozáření fyzických osob (dále jen "pracovní činnosti se zvýšeným ozářením z přírodních zdrojů") tím, že stanoví dotčená pracoviště a osoby, rozsah měření a směrné hodnoty pro zásahy ke snížení zvýšeného ozáření z přírodních zdrojů,
- c) podrobnosti o pravidlech pro přípravu a provádění zásahů k odvrácení nebo snížení ozáření a stanoví směrné hodnoty pro tyto zásahy,
- d) zprošťovací úrovně, uvolňovací úrovně, limity ozáření, optimalizační meze, mezní hodnoty obsahu přírodních radionuklidů ve stavebních materiálech a vodách a nejvyšší přípustné úrovně radioaktivní kontaminace potravin,
- e) podrobnosti ke klasifikaci zdrojů ionizujícího záření a kategorizaci radiačních pracovníků a pracovišť, kde se vykonávají radiační činnosti,
- f) technické a organizační požadavky, postupy a směrné hodnoty k prokázání optimalizace radiační ochrany,
- g) rozsah a způsob nakládání se zdroji ionizujícího záření, nakládání s radioaktivními odpady a uvádění radionuklidů do životního prostředí, k nimž je třeba povolení, a upravuje podrobnosti pro zajištění radiační ochrany při těchto radiačních činnostech,
- h) podmínky lékařského ozáření, diagnostické referenční úrovně a pravidla pro ozáření fyzických osob dobrovolně pomáhajících osobám podstupujícím lékařské ozáření,
- i) stanoví technické a organizační podmínky bezpečného provozu zdrojů ionizujícího záření a pracovišť s nimi, včetně vysokoaktivních a opuštěných zářičů
- j) vymezuje veličiny, parametry a skutečnosti důležité z hlediska radiační ochrany, stanoví rozsah jejich sledování, měření, hodnocení, ověřování, zaznamenávání, evidence a způsob předávání údajů Státnímu úřadu pro jadernou bezpečnost.

2.4 Bezpečnostní návod JB-2.1 - Řízení stárnutí zařízení jaderných elektráren

Tento bezpečnostní návod Řízení stárnutí jaderných elektráren je součástí série bezpečnostních návodů, které rozpracovávají požadavky, které definovala asociace WENRA vydáním Referenčních úrovní – „WENRA Reactor Safety Reference Levels, 2007“ a „Waste and Spent Fuel Safety Reference Levels Report, 2006“ (dále jen jako „Referenční úrovně“) a dále rozpracováním požadavků Mezinárodní agentury pro atomovou energii [8].

Je určen zejména pro držitele povolení k provozu jaderného zařízení, kterému nabízí možný postup, jehož dodržení mu zajistí, že jeho aktivity v dané oblasti budou v souladu s požadavky Atomového zákona, jeho prováděcími předpisy a naplní příslušné referenční úrovně WENRA [8].

Tento návod se primárně soustředí na jaderná zařízení ve smyslu Společné úmluvy o jaderné bezpečnosti - „civilní“ jaderné elektrárny, jeho principy a postupy lze vztáhnout také na další jaderná zařízení [8].

Řízení stárnutí komponent jaderné elektrárny důležitých pro bezpečnost představuje určení (predikcí a/nebo detekcí), kdy vlastnosti těchto komponent degradují na úroveň ohrožující dodržení požadovaných bezpečnostních rezerv a provedení nápravných nebo zmírňujících opatření [8].

Proces řízení stárnutí zahrnuje tři základní kroky [8]:

- výběr konstrukcí a komponent JE, pro které by mělo být stárnutí hodnoceno,
- porozumění dominantním mechanismům stárnutí KK vybraných v předchozím bodě a nalezení nebo vyvinutí účinných a použitelných metod pro monitorování a zmírňování dopadů jejich stárnutí,
- řízení degradace vlastností vybraných komponent způsobených stárnutím pomocí realizace účinných opatření v oblasti provozních kontrol, údržby a řízení provozu (odpovídající návrh, výroba, skladování a montáž jsou také významné pro řízení stárnutí).

2.5 Normativně technické dokumentace A.S.I. (NTD A.S.I.)

NTD A.S.I. tvoří celek šesti sekcí a jedné části „Zvláštní případy“. NTD A.S.I. se skládá z následujících částí [9]:

- I. Svařování zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER
 - II. Charakteristiky materiálů pro zařízení a potrubí jaderných elektráren VVER
 - III. Hodnocení pevnosti zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER
 - IV. Výpočet zbytkové životnosti zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER
 - V. Zkoušky materiálů
 - VI. Vzduchotechnické systémy jaderných elektráren typu VVER
- I. - VI. Zvláštní případy zařízení a potrubí jaderných elektráren typu VVER

SÚJB doporučuje použití sekcí I až VI NTD A.S.I. pro vybraná zařízení jaderných elektráren typu VVER.

3 STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGICKÝ PROCES, ROZBOR PROBLÉMU A NÁVRH JEHO ŘEŠENÍ

Hlavním cílem této práce je zvolení technologie opravy rozměrné součásti obráběním a to v prostorách primárního okruhu jaderné elektrárny Dukovany (EDU). Tento dílec může být kontaminovaný primárním chladivem, nebo pevně zabudován do technologie primárního okruhu. Na těchto částech je potřeba při údržbě zařízení, nebo při úpravách v rámci prodloužení životnosti zařízení primárního okruhu EDU provádět opravy, například těsnících ploch, středících průměrů, nebo úpravy nevhodně zvolených konstrukčních uzlů. Jako příklad lze uvést vnitřní ostrý kout na osazení válcové části (obr. 3.1), kde díky tomuto vrubu dochází za provozu zařízení k velké koncentraci napětí, čímž dochází k únavě materiálu, což může vést až k poškození součásti.

3.1 Popis možných variant řešení problému

Stávající možnosti oprav dílů třískovým obráběním na rozměrném zařízení, které je kontaminováno primárním chladivem, jsou uvedeny v tabulce 3.1 i s případnými omezeními. Opravy jednotlivých zařízení probíhají vždy při odstávce bloku, kde je pevně určena doba zajištění technologie a tím i čas na revizi daného zařízení.

Tab. 3.1 Stávající varianty oprav rozměrných dílů třískovým obráběním, včetně daných omezení.

Jednotlivé možnosti oprav dílů třískovým obráběním:	Omezení a nedostatky daného postupu:
Obrobení na strojovém vybavení mechanických dílen kontrolovaného pásma KP EDU.	Pro některé aplikace nedostatečná velikost stávajících strojů (maximální oběžný průměr nad ložem 800 mm).
Dekontaminace pod limitní hodnoty pro možnost vývozu z KP (poté by byla možnost obrábět kdekoliv).	Některé díly, které přišly do styku s primárním chladivem, není ani možné dekontaminovat pod limitní hodnoty pro možnost vývozu z KP.
Transport aktivního předmětu na jadernou elektrárnu Temelín ETE pro možnost obrobení na strojovém vybavení mechanických dílen KP ETE. Jedná se o soustruh svislý SKIQ 16 CNC B.	Přeprava aktivních dílů z EDU do ETE musí být realizována v režimu ADR a to specializovanou společností. Přepravované díly musí tedy splňovat kritéria ADR a interní předpisy ČEZ-EDU, což pro přepravu vyžaduje speciální obalový soubor. Tato možnost je tedy opět časově velmi náročná, a to jak z pohledu logistiky, tak z pohledu vyřízení nezbytné dokumentace.
Zřízení kontrolovaného nebo sledovaného pásma na mechanických dílnách centrální údržby EDU (mimo KP) pro možnost obrábění aktivního předmětu.	Technologicky možné, ale časově náročné. Dlouhodobé odstavení daného stroje z důvodu nutné důkladné přípravy a vyčištění stroje před obráběním a po opracování. Možná kontaminace stroje.
Zřízení kontrolovaného nebo sledovaného pásma v prostorách vybraného dodavatele mimo EDU pro možnost obrábění aktivního předmětu.	Technologicky možné, ale časově velmi náročné. Přeprava aktivních dílů musí být opět realizována v režimu ADR. Dlouhodobé odstavení daného stroje z důvodu nutné důkladné přípravy a vyčištění stroje před obráběním a po opracování. Možná kontaminace stroje.

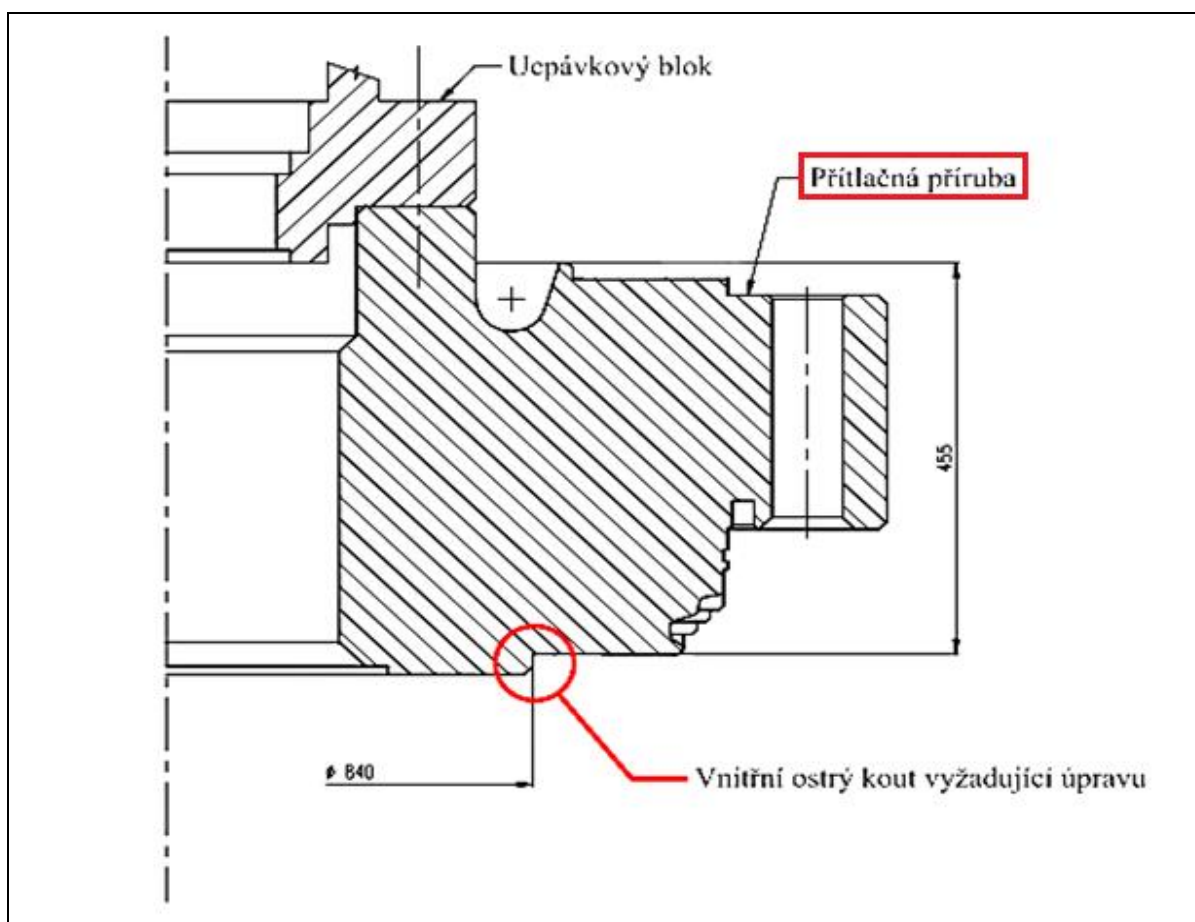
Zakoupení, eventuálně vlastní výroba jednoúčelových strojů pro dané aplikace.

Tato varianta by byla zvolena až v krajním případě, neboť by znamenala obdobnou finanční zátěž jako výběr univerzálního mobilního obráběcího stroje. Jednoúčelové stroje jsou vhodné zejména do specializovaných sériových výroben.

3.2 Návrh řešení problému a popis součástí

Z důvodů uvedených v tabulce 3.1, a to zejména možných časových ztrát při odstávce bloku nebo kontaminace strojů mimo KP, byla zvolena možnost obrábění mobilním, číslicově řízeným obráběcím strojem. Tímto zařízením bude možné kdekoli v prostorách KP, a to i na pevně instalovaném zařízení, jako jsou například výměníky tepla, provádět potřebné úpravy. Při využití mobilního obráběcího stroje odpadnou problémy s obtížnou logistikou, náročnou dekontaminací a bude možné provádět opravu přímo na místě revize daného zařízení.

Nejvýznamnější využití nového mobilního zařízení je plánováno na úpravě přítlačné příruby hlavního cirkulačního čerpadla (obr. 3.1), na kterém je potřeba provést důležitou konstrukční úpravu. Tato úprava spočívá ve vysoustružení obvodové drážky na průměru cca 850 mm s vhodně zvoleným rádiusem o maximálně výrobně možném hladkém zaoblení zhotovené drážky bez vrubů, aby se snížila koncentrace napětí v rozích drážky.



Obr. 3.1 Řez přítlačnou přírubou s označením místa vyžadující úpravu.

Přítlačná příruba HDR a prvky těsnění hlavní dělicí roviny HCČ slouží jako víko tělesa čerpadla (ulity), neprodyšností mezi nimi se dosahuje utěsněním plochým hřebenovým těsněním. Utažení hlavní dělicí roviny se děje maticemi M80 přes svazky talířových pružin, které zajišťují její neprodyšnost při různých režimech čerpadla.

Uvedená příruba je vyrobena jako výkovek z korozivzdorné oceli značky 08Ch18N10T, dle Ruské normy GOST 5632-72. Mechanické a chemické vlastnosti této oceli jsou uvedeny v tabulce 3.2 a v tabulce 3.3. Pod pojmem korozivzdorná ocel se rozumí legovaná ocel, jejímž hlavním legujícím prvkem je chrom.

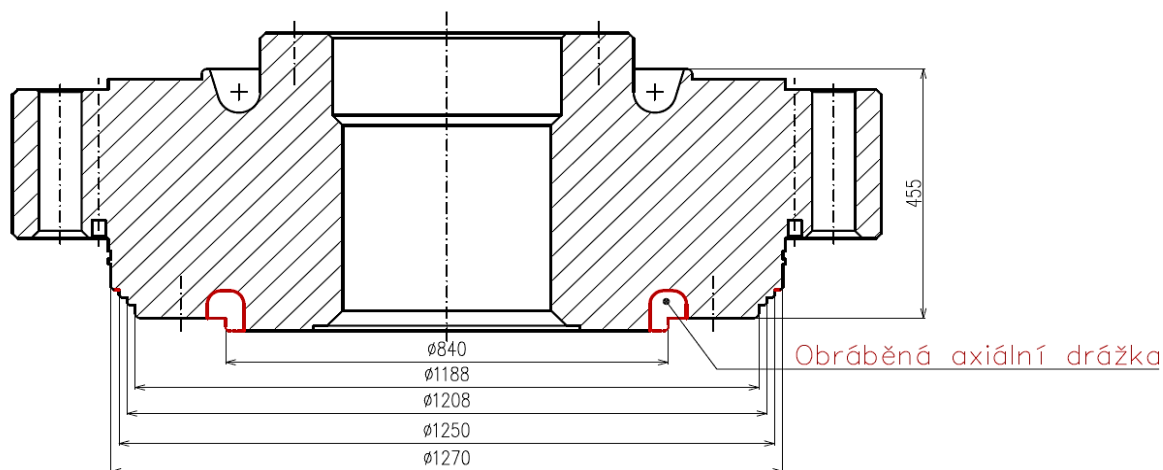
Tab. 3.2 Mechanické a teplo-fyzikální vlastnosti korozivzdorné oceli 08Ch18N10T [10].

Materiál	T [°C]	R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	E [10 ⁵ MPa]	α [10 ⁻⁶ K ⁻¹]	λ [W m ⁻¹ K ⁻¹]
08Ch18N10T plechy, výkovky; GOST 5632-72	20	490	196	2,05	16,4	15,07
	100	461	189	2,00	16,6	17,58
	200	417	181	1,90	17,0	15,07
	300	377	172	1,80	17,6	17,58

Tab. 3.3 Chemické složení korozivzdorné oceli 08Ch18N10T [10].

Materiál	C ≥ [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mn ≥ [%]	Si ≥ [%]	Ti [%]	S ≥ [%]	P ≥ [%]	Fe [%]
08Ch18N10T GOST 5632-72	0,08	17,0÷19,0	9,0÷11,0	2,00	0,80	5·C ÷ 0,7	0,02	0,035	rest

Vzhledem k důležitosti tohoto dílu byl předem posouzen vliv této úpravy na statickou pevnost tohoto tlakového víka a stanovení optimální velikosti vysoustružené obvodové drážky s navržením nejvhodnějšího rádiusu vnitřních koutů. Tyto výpočty byly provedeny metodou konečných prvků MKP a prokázaly, že při vysoustružení obvodové drážky s vhodným rádiusem v místě původního ostrého koutu (obr. 3.2) dojde v tomto místě k značnému snížení koncentrace napětí se zanedbatelným snížením statické pevnosti tohoto tlakového víka.



Obr. 3.2 Řez přítlačnou přírubou HCČ se zakreslenou axiální drážkou.

3.3 Požadované parametry mobilního obráběcího zařízení

Pro plánované aplikace úprav a oprav jednotlivých dílů byly stanoveny parametry, kterými by měl mobilní soustruh disponovat, a to jsou zejména:

- rozsah obrábění: \varnothing 500 mm až \varnothing 1650 mm,
- dosažení struktury povrchu Ra 1,6 μ m,
- sdružené posuvy dvou os pro možnost obrábění rádiusu,
- posuv v ose „Z“ minimálně 65 mm,
- držák výměnných břitových destiček s tělesem o minimální velikosti 25×25,
- dostatečný výkon (krouticí moment) soustruhu při čelním zapichování na \varnothing 800 mm až \varnothing 900 mm,
- dostatečně variabilní systém upínání soustruhu k obráběnému kusu (dílu).

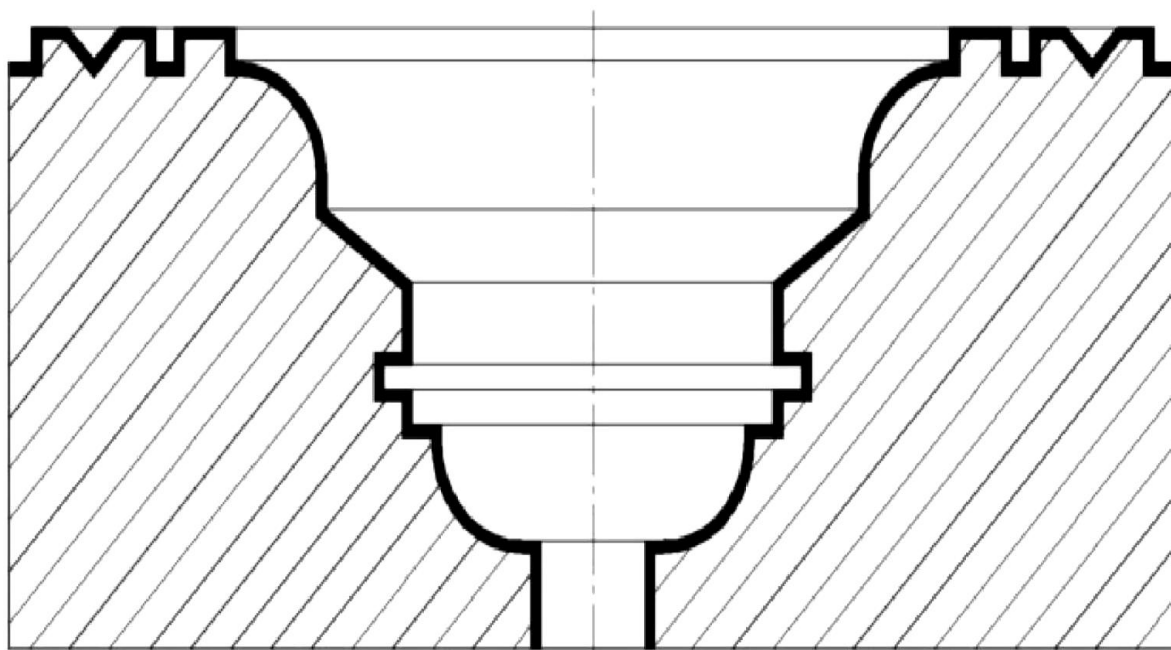
3.4 Popis vybraného mobilního obráběcího zařízení

Firmou zabývající se mimo jiné výrobou mobilních obráběcích zařízení byl pro uvažované aplikace nabídnut mobilní číslicově řízený soustruh EFCO TDF-2 NC (obr. 3.3).

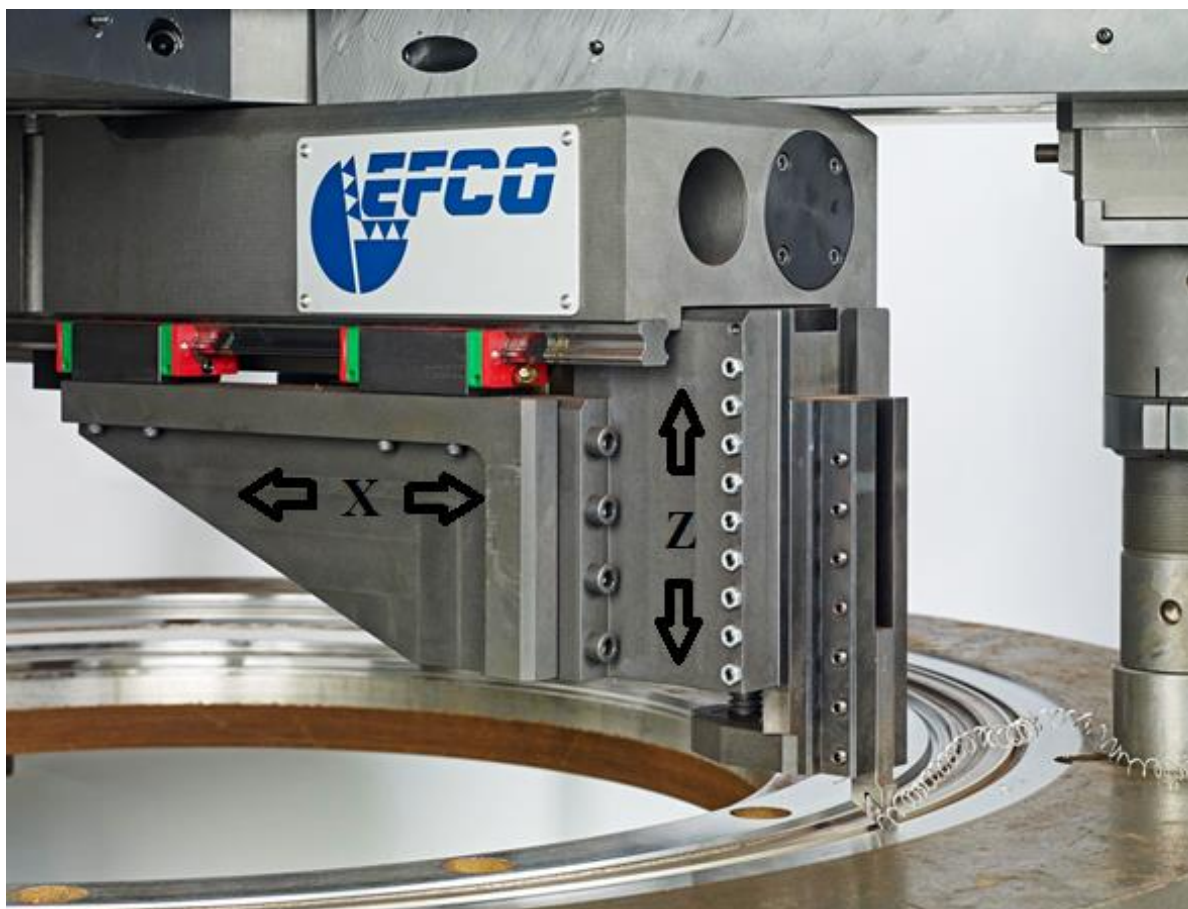


Obr. 3.3 Mobilní, číslicově řízený soustruh EFCO TDF-2 NC.

Jedná se o elektricky ovládaný mobilní stroj na opracování rotačních symetrických součástí s vnějším upínáním. Soustruh je vybaven plynulou regulací axiálního i radiálního posuvu (v ose „X“ a v ose „Z“). Vzhledem k jeho masivní konstrukci (obr. 3.5) s ním lze provést téměř všechny soustružnické práce, včetně obrábění axiálních drážek. Příklad možných obráběných ploch je zakreslen na obrázku 3.4.



Obr. 3.4 Náčres ploch možného využítí mobilního soustruhu EFCO TDF-2 NC.



Obr. 3.5 Robustní soustružnická hlava umožňující posuv v osách „X“ a „Z“.

Ovládání mobilního soustruhu EFCO TDF-2 NC se provádí přes kompaktní řídicí panel - SIEMENS MOBILE PANEL (obr. 3.6), který je se zařízením spojen dlouhým kabelem. V tomto ovladači jsou uloženy všechny programy na paměťové kartě se zajištěním proti ztrátě dat.



Obr. 3.6 Ovládací panel soustruhu EFCO TDF-2 NC.

Tab. 3.4 Technická data mobilního soustruhu EFCO TDF-2 NC [11].

Rozsah obrábění:		ø 500 ÷ ø 1800 mm
Posuvy:	v ose „X“	400 mm
	plynulý	0 ÷ 500 mm · min⁻¹
	v ose „Z“	80 mm
	plynulý	0 ÷ 69 mm · min⁻¹
Upínací průměr:	min.	ø 1150 mm
	max.	ø 2330 mm
Hlavní vřeteno:	otáčky	0 ÷ 80 min⁻¹
	max. krouticí moment	390 Nm
Elektrická přípojka:		400 V/50 Hz
Hmotnost:	kompletní stroj v dílenském vozíku	950 kg
	stroj se 4 upínacími rameny	490 kg
	rozvodná skříň	60 kg

3.5 Obecné obrábění korozivzdorných ocelí

Při obrábění austenitických a feritických/martenzitických korozivzdorných ocelí je pro většinu typů materiálů k dispozici oblast nízkých a vysokých řezných rychlostí. Mezi těmito oběma oblastmi ($V_c = 40 \div 90$ a $180 \div 400$ m·min⁻¹) leží problematická zóna vzniku nárůstku na břitě [12].

Všeobecně platí: čím vyšší je podíl legujících prvků v korozivzdorné oceli, o to náročnější a nákladnější je obrábění. Požadavky na vlastnosti materiálu jako například odolnost proti korozi, omezují v určitých oblastech použití možnost přidávat do ocelí potřebné množství přísad zabraňujících vzniku nárůstku na břitě. Následující charakteristické vlastnosti (a škodlivé důsledky) jsou pro obrábění korozivzdorných ocelí typické [12]:

- silný sklon k deformačnímu vytvrzení (opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě břitě),
- stabilní houževnaté chování (vysoké řezné síly a obtížný lom třísky),
- sklon k nalepování (tvorba nárůstku).

Některé základní obecně užitečná hlediska a doporučení, které by měly být brány v úvahu při obrábění korozivzdorných ocelí, jsou uvedeny v příloze 2.

Vlastnosti materiálu obrobku z korozivzdorné oceli výrazně ovlivňují legující prvky. Všeobecný vliv těchto legujících prvků na obrobitelnost těchto ocelí je uveden v tabulce 3.5.

Tab. 3.5 Vliv legujících prvků na obrobitelnost [12].

Negativní	Pozitivní
Mn	
Ni	Pb
Co	S
Cr	P
V	
C < 0,3 %	C 0,3 ÷ 0,6 %
C > 0,6 %	
Mo	
Nb	
W	

V uvedené tabulce 3.5 je patrné, že uvedená korozivzdorná ocel obsahuje převážně prvky, které mají na obrobitelnost negativní vliv, jako je např. chrom, nikl a malé množství uhlíku.

3.6 Výběr nástrojů pro obrobení přítlačné příruby

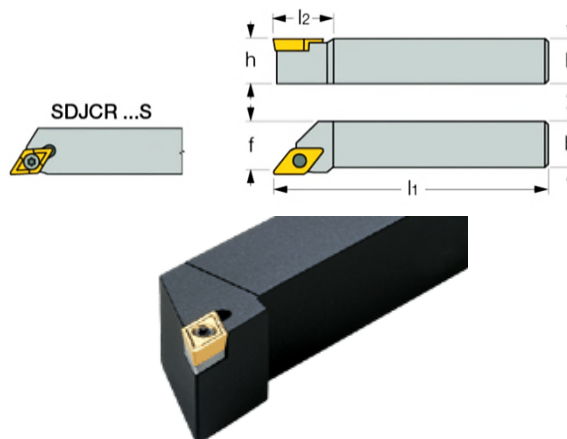
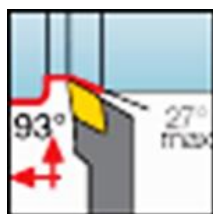
Pro obrobení kované přítlačné příruby hlavního cirkulačního čerpadla (obr. 3.1), která je vyrobena z korozivzdorné oceli 08CH18N10T byly vybrány nástroje (tabulka 3.6).

Tab. 3.6 Nástroje pro obrobení přitlačné příruby HCČ [16].

Soustružení osazení na $\varnothing 840$ mm.**Držák pro výměnnou břitovou destičku (VBD)**

Držák SDJCR 2525M -11, pro 55° VBD s úhlem hřbetu 7° .

h	b	l1	l2	f
25,0	25,0	150,0	20,0	32,0

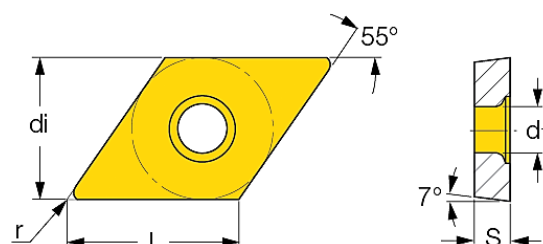
**Odpovídající VBD**

DCMT 11T308-SM, IC807

55° kosočtvercová VBD, úhel hřbetu 7° , s PVD povlakem TiAlN.

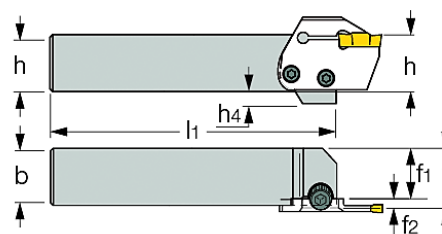
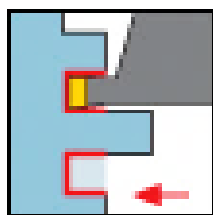
l	di	S	r	d1
11,60	9,52	3,97	0,80	4,40

ISO Range – **P/M** / **P10-P30** / **M05-M20** / **K** / **K10-K30**

**Soustružení axiální (čelní) obvodové drážky s rádiusem na $\varnothing 800$ až $\varnothing 900$ mm.****Držák s adaptérem pro výměnnou břitovou destičku (VBD)**

MODULAR GRIP držák MAHL 25, pro adaptér HFPAD.

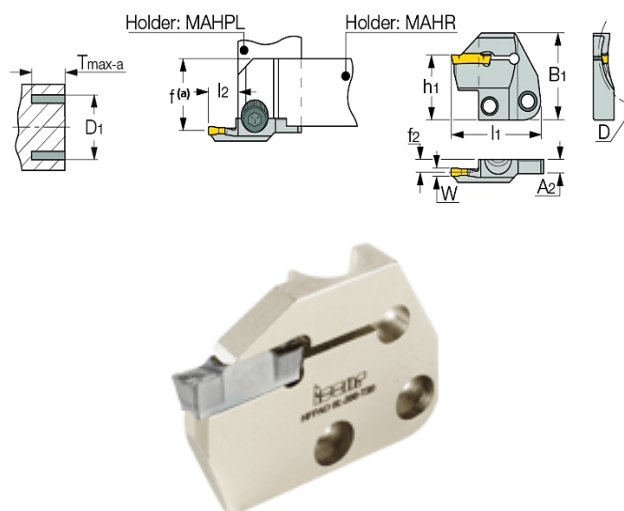
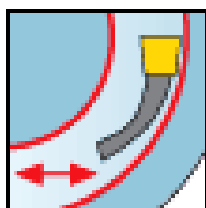
h	b	l1	h4	f1
25,0	25,0	130,0	5,0	22,1



Odpovídající adaptér pro VBD

Adaptér HFPAD 6R-200-T20 pro čelní zapichování a soustružení průměrů v rozsahu $D1 = 200 \div 3000$ mm.

W	Tmax -a	l2	f2	A2	l1	h1	B1
6,0	20,0	21,0	4,5	7,1	45,5	24,0	32,0

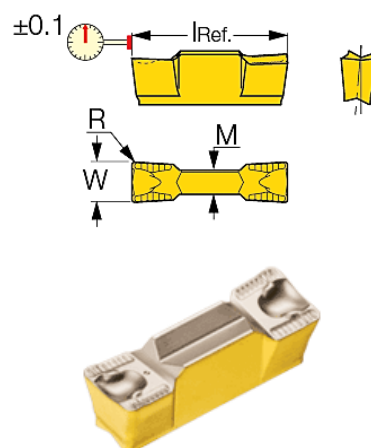
**Odpovídající VBD na hrubování čelní drážky**

GRIP 6005Y, IC807

Oboustranná VBD pro vnější/vnitřní a čelní zapichování/soustružení s PVD povlakem TiAlN.

W ± 0.05	R ± 0.05	l	M
6,00	0,50	19,00	4,20

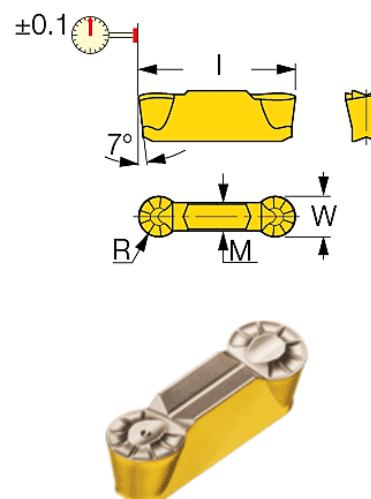
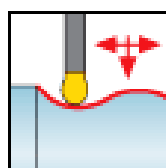
ISO Range – **P/M** / **P10-P30** / **M05-M20** / **K** / **K10-K30**

**Odpovídající VBD na dokončování čelní drážky**

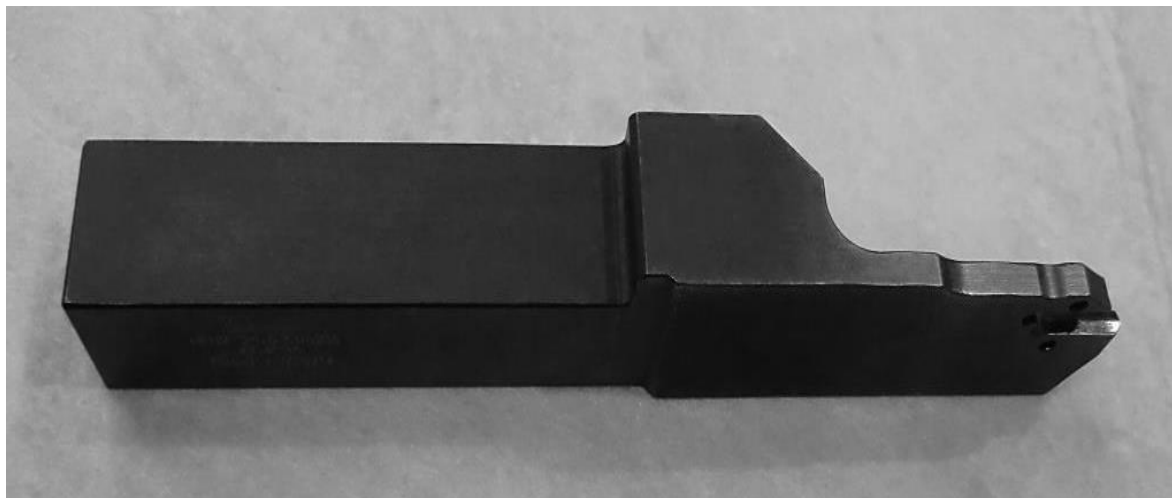
GRIP 6030Y, IC807

Oboustranná plnorádiusová VBD pro vnější, vnitřní a čelní soustružení s PVD povlakem TiAlN.

W ± 0.05	R ± 0.05	l	M
6,00	3,00	19,00	4,20



Pro případ nutnosti výroby axiální drážky větší hloubky je možné použít na zakázku vyrobený držák VBD typu HFHR 25-6-5116216 (obr. 3.7), kterým lze zhotovit drážku do hloubky 65 mm.



Obr. 3.7 Držák VBD typu HFHR 25-6-5116216 pro drážky hloubky 65 mm.

3.7 Řezná síla, měrná řezná síla a krouticí moment při obrábění

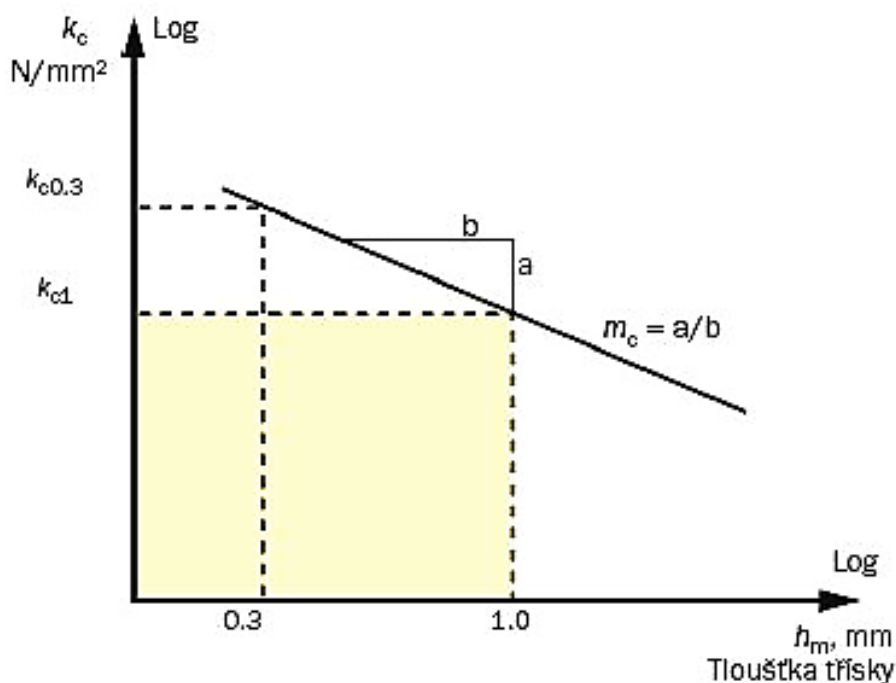
Pro výpočet výkonu, krouticího momentu a řezné síly se využívá charakteristika nazývaná měrná řezná síla označovaná k_{c1} . Lze ji vyjádřit jako sílu F_c , působící ve směru obrábění, potřebnou pro oddělení třísky o průřezu 1 mm^2 , která má tloušťku 1 mm . Hodnota k_{c1} se liší pro všech šest materiálových skupin a mění se také v rámci každé skupiny.

Hodnota k_{c1} je platná pro neutrální břitovou destičku s úhlem čela, $\gamma_0 = 0^\circ$; v ostatních případech je třeba tuto hodnotu příslušným způsobem korigovat. Například, pokud je úhel čela pozitivní, tedy větší než 0 stupňů, skutečná hodnota k_c bude menší a vypočítá se podle následujícího vztahu (3.1) [13]:

$$k_c = \frac{k_{c1}}{h_m^{mc}} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) \quad (3.1)$$

kde:	k_c [MPa]	-	měrná řezná síla,
	k_{c1} [MPa]	-	měrná řezná síla potřebná pro oddělení třísky o průřezu 1 mm^2 ,
	h_m [mm]	-	tloušťka třísky,
	mc [-]	-	konstanta zohledňující vlastnosti obráb. materiálu,
	γ_0 [°]	-	úhel čela VBD v ortogonální rovině.

Jestliže je skutečná tloušťka třísky h_m například 0,3 mm, hodnota k_c bude vyšší, viz obrázek 3.8.



Obr. 3.8 Závislost velikosti měrné řezné síly na tloušťce třísky [13].

Je-li skutečná hodnota k_c stanovena, potřebnou řeznou sílu při čelním zapichování je možné vypočítat pomocí vztahu (3.2):

$$F_c = k_c \cdot a_p \cdot f \quad (3.2)$$

- kde: F_c [N] - řezná síla,
 k_c [MPa] - měrná řezná síla,
 a_p [mm] - šířka záběru ostří,
 f [mm] - posuv na otáčku.

Ve výpočtu krouticího momentu M_k hraje nejdůležitější roli celková řezná síla F_c . Potřebný krouticí moment na vřetení stroje se tedy vypočítá ze vztahu (3.3):

$$M_k = F_c \cdot \frac{D}{2} \quad (3.3)$$

- kde: M_k [Nm] - krouticí moment,
 F_c [N] - řezná síla,
 D [m] - maximální obráběný průměr.

Výpočet měrné řezné síly

Pro výpočet měrné řezné síly je do vztahu (3.1) dosazen exponent m_c a měrná řezná síla potřebná pro oddělení třísky o průřezu 1 mm^2 k_{cl} z tabulky uvedené v příloze č. 3, kde k uvedenému materiálu 08CH18N10T (MC kód M1.3.Z.AQ) platí tyto hodnoty $k_{cl} = 1800 \text{ MPa}$ a $m_c = 0,21$. Tloušťka třísky h_m je pro čelní obrábění zvolena vzhledem k uvedenému materiálu a konstrukci soustruhu $0,06 \text{ mm}$ a úhel čela γ_0 konzervativně 0° , přestože má VBD díky tvaru utvářeče třísky pozitivní geometrii čela.

$$k_c = \frac{k_{cl}}{h_m^{m_c}} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) = \frac{1800}{0,06^{0,21}} \cdot \left(1 - \frac{0}{100}\right) = 3250 \text{ MPa}$$

Výpočet řezné síly

Řezná síla je vypočtena dosazením do vztahu (3.2), kde je za k_c dosazena vypočítaná hodnota 3250 MPa , za a_p šířku VBD $= 6 \text{ mm}$ a za $f = 0,06 \text{ mm}$.

$$F_c = k_c \cdot a_p \cdot f = 3250 \cdot 6 \cdot 0,06 = 1170 \text{ N}$$

Výpočet krouticího momentu

Z vypočtené řezné síly F_c je vypočítán potřebný krouticí moment na vřetení stroje ze vztahu (3.3), když maximální obráběný průměr $D = 0,9 \text{ m}$.

$$M_k = F_c \cdot \frac{D}{2} = 1170 \cdot \frac{0,9}{2} = 527 \text{ Nm}$$

3.8 Zhodnocení výsledků

Po výpočtu krouticího momentu bylo zjištěno, že by měl mobilní soustruh nedostatečný výkon. Ten dosahuje oproti vypočteným 527 Nm pouze 390 Nm . Je třeba si uvědomit, že byly do vztahu pro výpočet síly dosazeny hodnoty šířky záběru ostří a posuvu na otáčku, které nejsou fixní, ale zároveň mají na výslednou hodnotu krouticího momentu velký vliv. Snížení záběru ostří lze snížit změnou šířky VBD, což je ale možné pouze o 1 mm , a to z původních 6 mm na 5 mm . Tento parametr nelze vzhledem k obráběnému průměru axiální drážky přes 800 mm více snížit díky konstrukci držáků VBD, které jsou na takto velkém průměru stavěny na minimální šířku břitových destiček 5 mm . Dále je možné snížit posuv na otáčku, čímž se nám ale značně prodlouží doba obrábění požadované drážky.

3.9 Výpočet posuvu na otáčku při původní konfiguraci převodovky soustruhu

Aby nebyla překročena maximální hodnota krouticího momentu mobilního zařízení, tak provedeme zpětný přepočet ze známého krouticího momentu tohoto mobilního obráběcího stroje EFCO TDF-2 NC.

Ze vztahu pro výpočet krouticího momentu (3.3) je vypočtena řezná síla F_c :

$$F_c = M_k \cdot \frac{2}{D} = 390 \cdot \frac{2}{0,9} = 867 \text{ N}$$

A na základě této vypočtené hodnoty je vypočítán požadovaný posuv na otáčku f ze vztahu (3.2):

$$f = \frac{F_c}{k_c \cdot a_p} = \frac{867}{3540 \cdot 6} = 0,04 \text{ mm}$$

Hodnota měrné řezné síly $k_c = 3540 \text{ MPa}$ je zvolena po přepočtu ze vztahu (3.1) se zohledněním nižšího posuvu na otáčku $f = 0,04 \text{ mm}$:

$$k_c = \frac{k_{c1}}{h_m^{mc}} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) = \frac{1800}{0,04^{0,21}} \cdot \left(1 - \frac{0}{100}\right) = 3540 \text{ MPa}$$

Tento posuv na otáčku $f = 0,04 \text{ mm}$ je ale pochopitelně maximální limitní, který je ovšem pouze teoretický a nezohledňuje opotřebení nástroje a nečistoty v oceli. Proto by měl uvažován maximální posuv s VBD šířky 6 mm o velikosti $f = 0,03 \text{ mm}$, čímž se nám pochopitelně čas, který je nezbytný na zhotovení drážky téměř zdvojnásobí.

3.10 Výpočet posuvu na otáčku s novou konfigurací převodovky soustruhu

Z výše popsanych důvodů byla s firmou vyrábějící mobilní soustruh EFCO TDF-2 NC dohodnuta změna konfigurace převodovky a to tak, že se maximální krouticí moment zvýšil na hodnotu $M_k = 780 \text{ Nm}$.

Z této hodnoty byl vypočten maximální možný posuv s uvažovanou VBD šířky 6 mm.

Opět tedy ze vztahu (3.3), po dosazení vyššího krouticího momentu je vypočtena řezná síla F_c :

$$F_c = M_k \cdot \frac{2}{D} = 780 \cdot \frac{2}{0,9} = 1734 \text{ N}$$

Z této vypočtené hodnoty je pomocí vztahu (3.2) vypočítán maximální posuv na otáčku f :

$$f = \frac{F_c}{k_c \cdot a_p} = \frac{1734}{2920 \cdot 6} = 0,1 \text{ mm}$$

Hodnota měrné řezné síly $k_c = 2920 \text{ MPa}$ je zvolena po přepočtu ze vztahu (3.1) se zohledněním vyššího posuvu na otáčku $f = 0,1 \text{ mm}$:

$$k_c = \frac{k_{c1}}{h_m^{mc}} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right) = \frac{1800}{0,1^{0,21}} \cdot \left(1 - \frac{0}{100}\right) = 2920 \text{ MPa}$$

3.11 Dílčí závěr

Při původní navržené konfiguraci převodovky s nižším, a tím pádem nedostatečným, krouticím momentem 390 Nm na vřetení stroje, je možno jen velmi pomalu a obtížně opracovat navrženou drážku. Při jakékoliv nehomogenitě a nečistotě v oceli, nebo při počínajícím otupení břitu VBD, by bylo nutné měnit nástroj nebo snížit již tak malý posuv na otáčku. Další možností by bylo zmenšení záběru ostří, čehož lze dosáhnout změnou šířky VBD, to je ale na takto velkém průměru možné pouze o 1 mm, a to z původních 6 mm na 5 mm, čímž by se ale stejně nezrychlil řezný proces. Tento parametr nelze vzhledem k obráběnému průměru přes 800 mm více snížit díky konstrukci držáků VBD, které jsou na takovémto průměru vyráběny od šířky břitové destičky 5 mm.

Z výše uvedených důvodů byla převodovka po dohodě s výrobcem mobilního soustruhu překonfigurována na dvojnásobný výkon na vřetení, tedy 780 Nm, proto je možno na soustruhu dosáhnout lepších řezných podmínek.

4 VYUŽITÍ MOBILNÍHO OBRÁBĚCÍHO STROJE V PRAXI

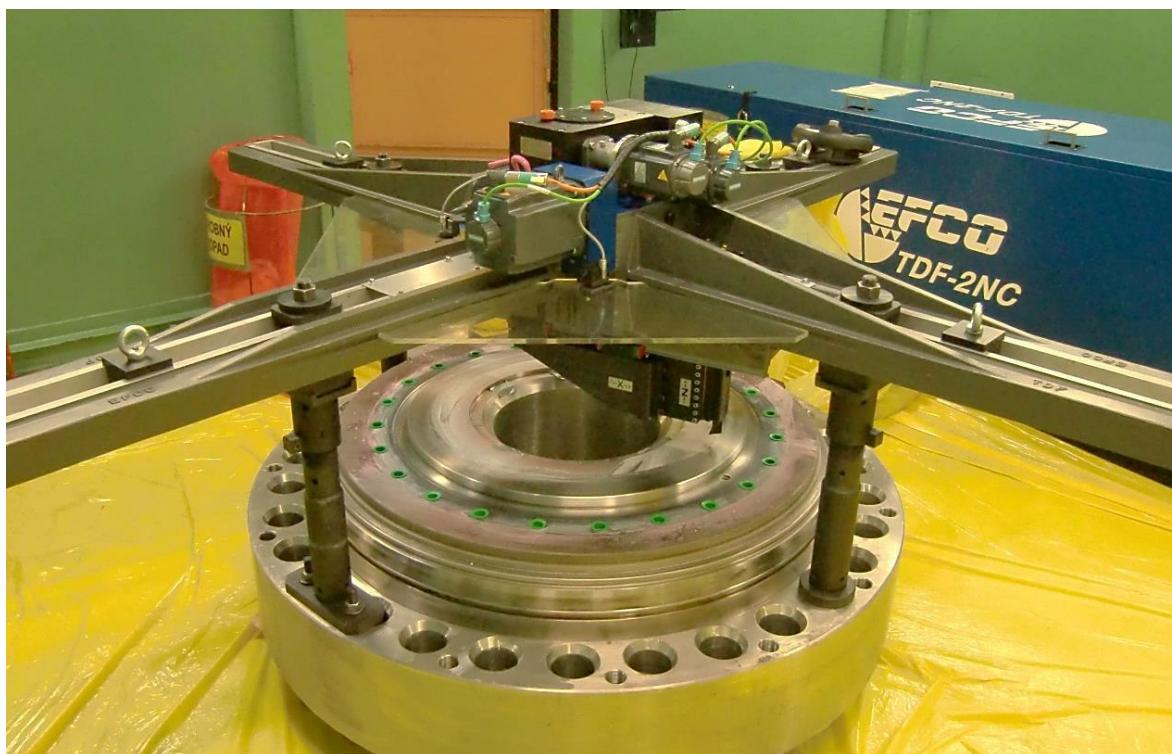
Před provedením každé opravy důležitého vybraného zařízení nebo vybraného zařízení speciálně navrhovaného, na které se vztahují vyhlášky SÚJB č. 132/2008 a 309/2005, musí být zpracovány pracovní postupy opravy (PPO) a plány kontrol a zkoušek (PKZ). Tyto dokumenty musí obsahovat mimo technologické a bezpečnostní části i určení kontrol a z nich požadovaný výstup. Tato dokumentace podléhá schvalovacímu procesu všemi dotčenými odbornostmi na jaderné elektrárně.

Dále pak musí být na opravy zařízení, kde je riziko kontaminace pracovníků nebo kde to vyžaduje radiační situace daného pracoviště, zpracován program zajištění radiační ochrany (PZRO). V tomto dokumentu jsou popsány všechna rizika při práci se zdroji ionizovaného záření a opatření pro jejich eliminaci. Jedná se zejména o ochranu časem, vzdáleností, stíněním a samozřejmě používání osobních ochranných pracovních pomůcek.

4.1 Obrábění čelní drážky na přitlačné přírubě HCČ

Jak je již dříve uvedeno, tak nejvýznamnější využití mobilního obráběcího zařízení EFCO TDF-2 NC spočívá v konstrukční úpravě přitlačné příruby hlavního cirkulačního čerpadla, na kterém je potřeba provést důležitou konstrukční úpravu. Tato úprava spočívá ve vysoustružení axiální drážky na průměru přes 800 mm s vhodně zvoleným rádiusem o maximálně výrobně možném hladkém zaoblení zhotovené drážky bez vrubů, aby se snížila koncentrace napětí ve vnitřních rozích drážky.

Soustruh je k přitlačné přírubě uchycen v otvorech pro svorníky HDR po 90° viz obrázek 4.1.



Obr. 4.1 Instalovaný mobilní, soustruh EFCO TDF-2 NC na přitlačné přírubě HCČ.

Nevýhodou při obrábění dílů kontaminovaných radioaktivními látkami je nemožnost chlazení procesní kapalinou a to ani u zařízení s vlastním chladicím okruhem. V rámci primárního okruhu je toto zakázáno z důvodu možného potřísnění obsluhy stroje procesní kapalinou, čímž by mohlo dojít ke kontaminaci této osoby. Při zřízení sledovaného pásma mimo primární okruh EDU je také použití procesní kapaliny zakázané, a to navíc z důvodu možnosti zanesení kontaminace do chladicího okruhu tohoto stroje.

Při obrábění těchto dílů jsou proto používány pouze řezné oleje, kde ovšem nedojde k dokonalé tvorbě mazacího filmu jako u procesních kapalin. Mazací účinek se při používání procesních kapalin projeví zmenšením tření na stykových plochách břitu. Snížené tření se pozitivně projevuje ve všech oblastech tvorby třísky, lepší kvalitě dosaženého povrchu a klidnějším chodu stroje. Jeho předpokladem však je, že procesní kapalina pronikne do stykové plochy a vytvoří zde účinný mazací film. Tento předpoklad se dá splnit jen do určité míry, neboť mezi styčnými plochami působí vysoké tlaky (řádově 10^3 MPA – tzn. mnohem vyšší než u mazaných strojních zařízení) a vysoké teploty 300 až 1000 °C. Teploty, při kterých je schopen např. olej vytvořit mazací film umožňující tzv. polosuché tření, jsou podstatně nižší (120 až 150 °C), a proto se polosuché tření může uplatnit pouze u nízkých řezných rychlostí [14].

Na obrázku 4.2 je zhotovována axiální drážka s rádiusy s použitím řezného oleje.



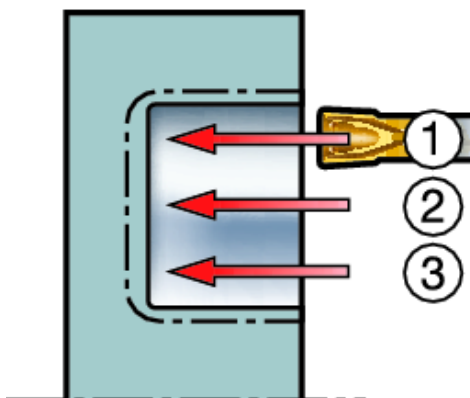
Obr. 4.2 Výroba axiálního zápichu na přítlačné přírubě HCC.

Při obrábění axiálních zápichů je důležité vybrat pro danou břitovou destičku správný nástrojový držák. Nástrojový držák musí být přizpůsoben poloměru zakřivení drážky, a proto by měl mít potřebný tvar [15].

Pro obrábění axiálních zápichů platí tyto doporučení výrobců nástrojů [15]:**Hrubování**

Při hrubování (obr. 4.3) vždy první řez (pozice 1) provádějte na největším průměru drážky a následně postupujte směrem ke středu. Pro průběh prvního řezu je typická dobrá kontrola třísky, ale také její obtížnější dělení.

Pro následující řezy (pozice 2) a (pozice 3) je vhodné, aby jejich šířka odpovídala 0,5 - 0,8 násobku šířky VBD. Dělení třísky se tak dostane na přijatelnou úroveň a budete moci lehce zvýšit rychlost posuvu.



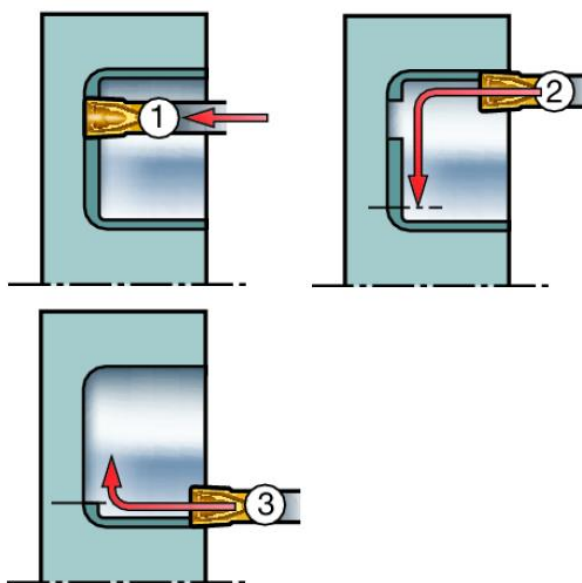
Obr. 4.3 Hrubování axiálních zápichů [15].

Dokončování

Při dokončování (obr. 4.4) proveďte první řez (pozice 1) uvnitř daného rozmezí průměrů.

Druhým řezem (pozice 2) se dokončí požadovaný průměr. Rádus na čelní ploše vždy obraťte směrem dovnitř (a vždy směrem ke středu).

Nakonec třetím řezem (pozice 3) dokončete vnitřní průměr zápichu na správné rozměry.

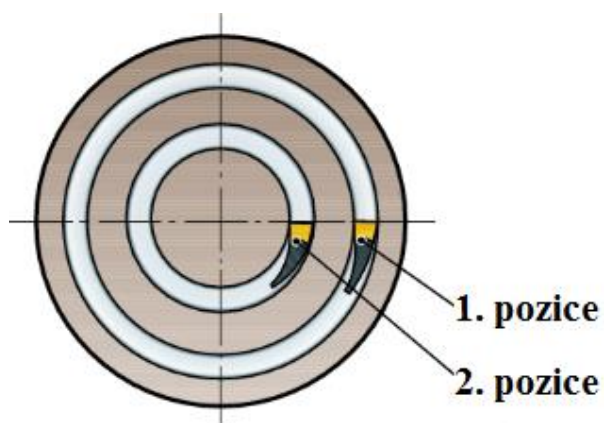


Obr. 4.4 Dokončování axiálních zápichů [15].

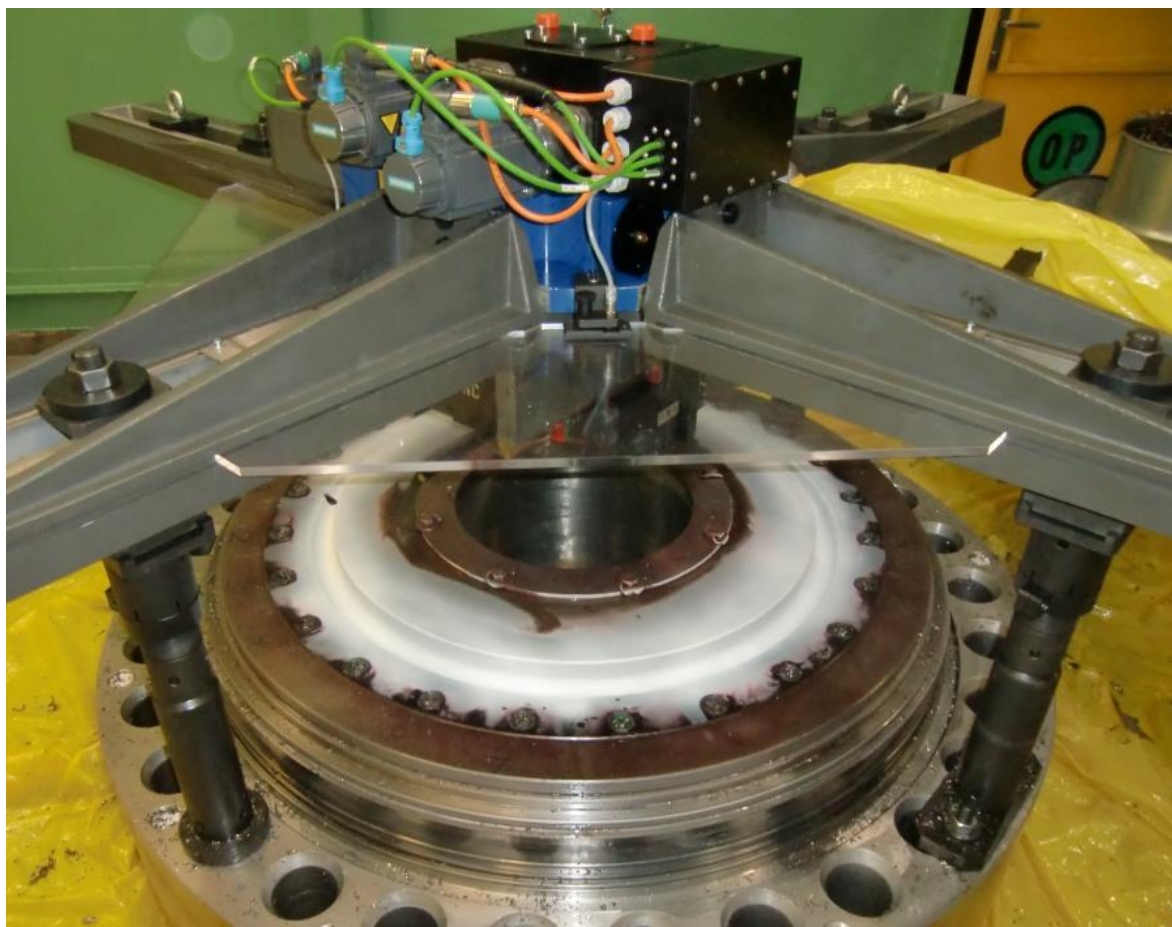
Správný nástroj pro daný průměr [15]

Ujistěte se, zda zvolený nástroj je vhodný pro dané rozmezí průměrů (obr. 4.5).

1. pozice: Pokud se vnitřní strana čepele otírá o vnitřní stěnu drážky, nástroj buď není vhodný pro dané rozmezí průměrů, nebo nástroj není rovnoběžný s osou otáčení.
2. pozice: Pokud se vnější strana čepele otírá o vnější stěnu drážky, nástroj buď není vhodný pro dané rozmezí průměrů, nebo nástroj není rovnoběžný s osou otáčení.

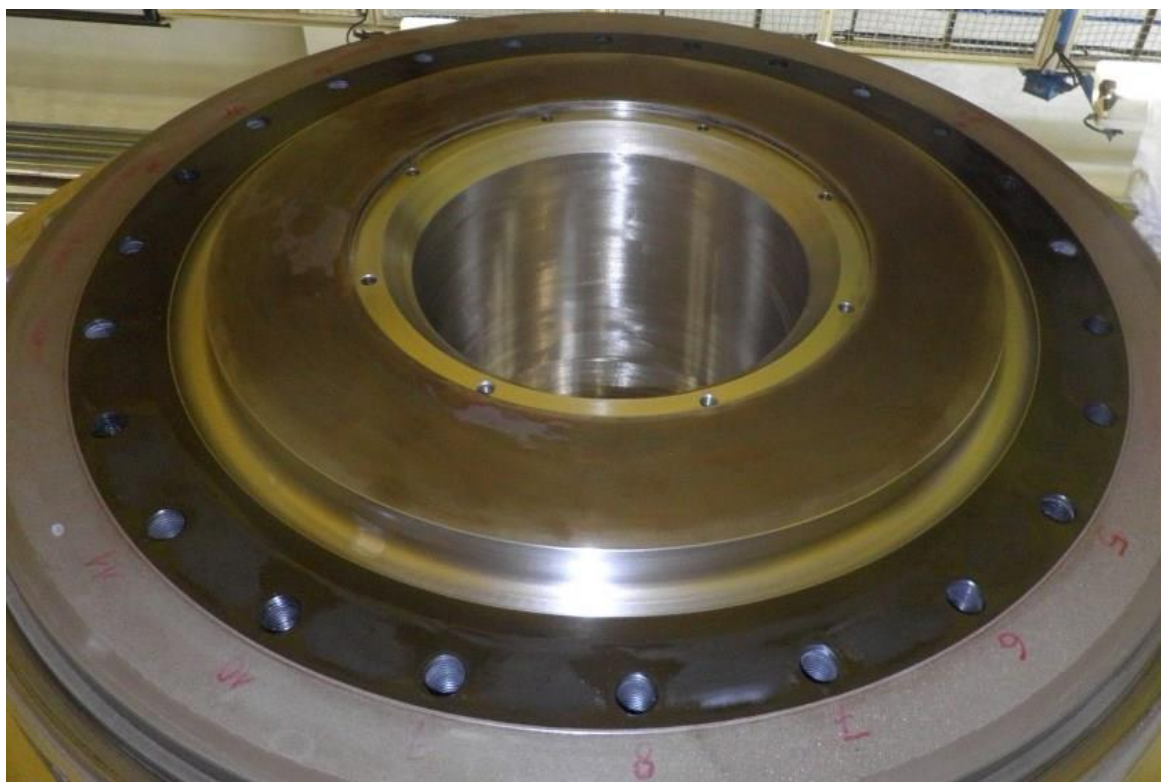


Obr. 4.5 Volba nástroje pro axiální zápichy [15].



Obr. 4.6 PT kontrola po obrobení axiální drážky.

Po zhotovení drážky následuje 100% kapilární kontrola (obr. 4.6) dle ČSN EN 3452-1:2014 a vyhodnocena dle ČSN EN 10228-2 třída jakosti 4 (trhliny jsou nepřípustné) s následnou VT a RK kontrolou (obr. 4.7 a 4.8). Tyto kontroly vycházejí z realizační dokumentace obsahující PPO, PKZ a návodky jednotlivých kontrol. Z každé kontroly je poté vystaven protokol s výsledkem této zkoušky. O velikosti a pozici drážky je zhotoven záznam skutečného provedení, jelikož tyto rozměry jsou stanoveny až na základě zjištění poškození stávajícího konstrukčního řešení.



Obr. 4.7 Zhotovená axiální drážka mobilním soustruhem EFCO TDF-2 NC.



Obr. 4.8 Detail zhotovené axiální drážky.

5 DALŠÍ VYUŽITÍ MOBILNÍHO OBRÁBĚCÍHO STROJE

Mobilní obráběcí soustruh EFCO TDF-2 NC má v rámci primárního okruhu i další uplatnění a to jak při obrábění rozváděcího kola HCČ, tak při opravě těsnicí plochy trubkovnice tepelného výměníku systému TQ. Další uvažované využití je na opravu těsnicí plochy hlavní dělicí roviny HCČ a to jak na přítlačné přírubě, tak v ulitě čerpadla.

Na tyto jednotlivé úpravy se dnes používají různé jednoúčelové mobilní stroje s manuálním posuvem, které byly vždy navrženy k provedení jedné konkrétní úlohy. Při manuálním posuvu na otáčku lze ovšem velmi obtížně dosáhnout požadované kvality povrchu, a proto je využit nový, číslicově řízený mobilní soustruh EFCO TDF-2 NC.

5.1 Úprava rozváděcího kola HCČ

Na rozváděcím kole HCČ (obr. 5.1), je obráběn vnitřní \varnothing 840 mm a na \varnothing 930 mm zhotovena čelní drážka pro těsnění. Zde je při uchycení soustruhu využito upínacího řetězového systému, který rozšiřuje možnost využití mobilního stroje.

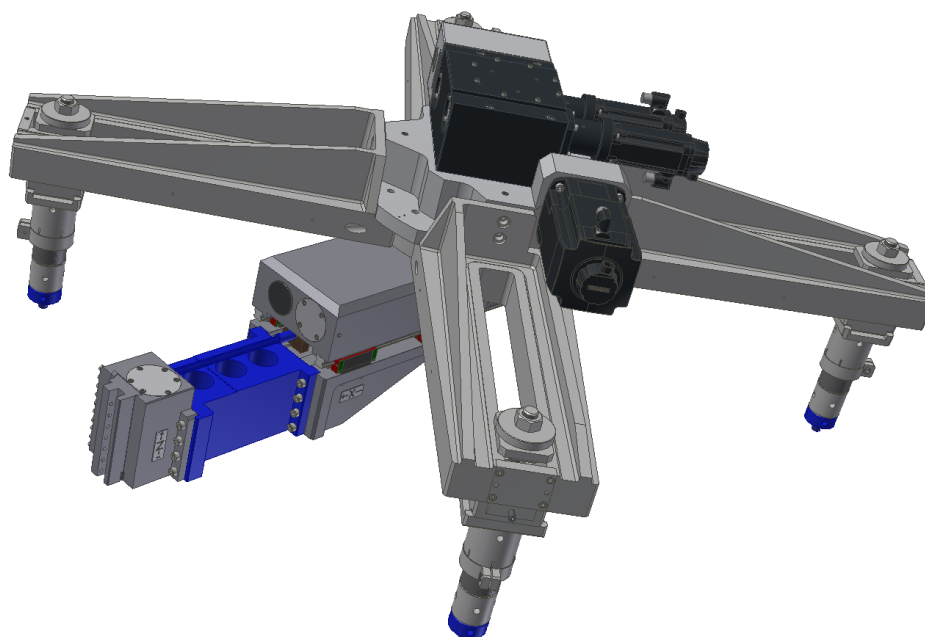
Rozváděcí kolo je vyrobeno jako odlitek z materiálu 12CH18N9TL, který má při obrábění podobné vlastnosti jako materiál přítlačné příruby HCČ, proto jsou při soustružení použity stejné nástroje.



Obr. 5.1 Obrábění rozváděcího kola HCČ mobilním soustruhem EFCO TDF-2 NC.

5.2 Úprava těsnicí plochy trubkovnice tepelného výměníku

Další využití tohoto zařízení spočívá v provedení opravy těsnicí plochy trubkovnice tepelného výměníku o \varnothing 1600 mm, která je vyrobena z materiálu 17248.4. Na obrobení takto velkého průměru, musí být prodlouženo rameno soustružnické hlavy (obr. 5.2 a obr. 5.3). Na obrázku 5.2 jsou modře znázorněny díly, které jsou vyrobeny pro možnost upnutí a obrábění této těsnicí plochy a na obrázku 5.3 je zobrazena zkouška prodloužení ramene soustružnické hlavy.

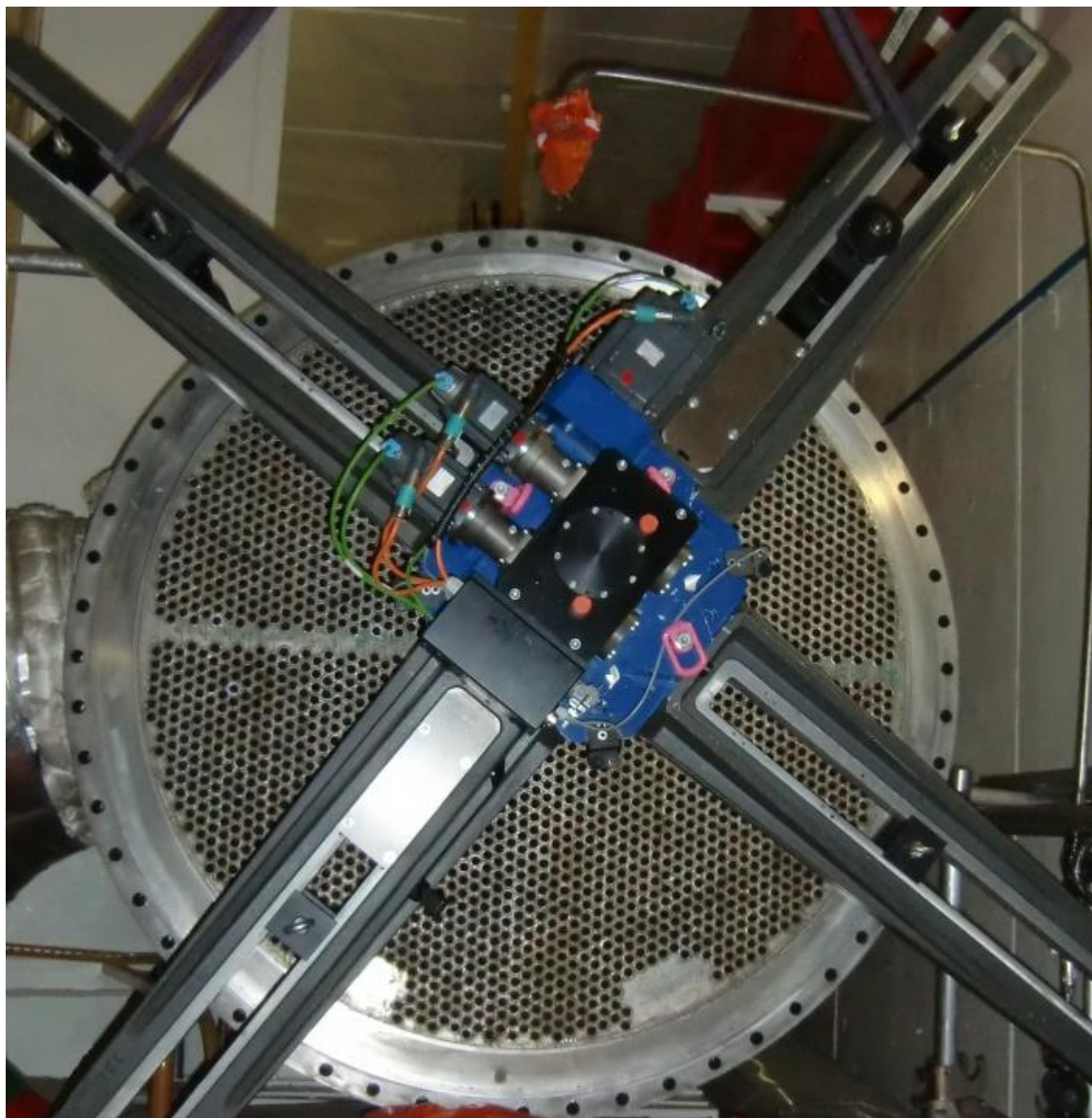


Obr. 5.2 Zobrazení úprav pro možnost obrábění tepelného výměníku systému TQ.



Obr. 5.3 Odzkoušení prodloužení ramene nožové hlavy.

Instalace mobilního obráběcího soustruhu je na rozdíl od předchozích aplikací ve vertikální poloze (obr. 5.4). Montáž mobilního soustruhu do této polohy je oproti horizontálnímu uložení složitější, ale díky konstrukci stroje proveditelná.



Obr. 5.4 Instalace soustruhu EFCO TDF-2 NC na tepelný výměník systému TQ.

5.3 Dílčí závěr

Mobilní soustruh EFCO TDF-2 NC, má široké využití při opravách a různých konstrukčních úpravách rozměrných dílů nebo pevně instalovaných komponent. U těchto dílů je využití mobilního soustruhu opodstatněné, jelikož doprava na konvenční obráběcí stroje je velice komplikovaná, anebo dokonce nemožná, jako v případě tepelného výměníku systému TQ, který je napevno připojen k navazující technologii v prostorách primárního okruhu. Jako možná nevýhoda se jeví nemožnost použití procesní kapaliny, což lze částečně nahradit použitím kvalitních řezných olejů.

6 DISKUZE

6.1 Výběr techniky s ohledem na dobu opravy zařízení

Výběr tohoto strojního vybavení, který obsahuje zařízení pro obrábění rozměrných dílů v podmínkách primárního okruhu EDU má značné výhody, a to zejména úsporu času. Oprava zařízení v době, kdy je daný blok odstaven pro výměnu paliva v reaktoru a provedení generálních oprav, revizí a kontrol zařízení, má předem stanovený časový plán, ve kterém na sebe jednotlivé činnosti a opravy navazují a každé prodloužení jakékoliv opravy má často vliv na prodloužení odstávky. V kapitole 3.1, která popisuje možné varianty řešení problému, jsou uvedeny možné omezení a nedostatky jednotlivých variant řešení, ale většina naráží právě na možné nedodržení harmonogramu. Přestože by některé z popsaných variant řešení mohly být levnější, tak pokud by se nesplnil časový plán a toto prodloužení opravy zařízení mělo za následek prodloužení celé odstávky bloku, byla by cena za nevýrobu bloku značně vyšší.

6.2 Nepřímé sledování trvanlivosti VBD a řezných podmínek při obrábění

Při soustružení čelní drážky na přitlačné přírubě HCČ byl potvrzen výpočet řezných sil a krouticího momentu na vřetení stroje. Mobilní soustruh není sice osazen snímačem krouticího momentu, ale na displeji ovladače je po dohodě s výrobcem mobilního soustruhu zobrazena teplota vinutí statoru pohonu vřetene. Je-li při obrábění vše v pořádku a nejsou-li překročeny řezné podmínky, tak se teplota pohybuje mezi 55 °C až 80 °C (záleží na době, kdy je nástroj v záběru a kdy přejíždí naprázdno k dalšímu kroku), ale jakmile začne docházet k opotřebení ostří VBD, nebo je nástroj přetěžován velkým posuvem na otáčku, tak teplota začne prudce stoupat. Aby nedošlo k výpadku soustruhu, ať již od teploty vinutí pohonu, nebo od překročení proudového zatížení, je potřeba upravit řezné podmínky nebo vyměnit nástroj. Zobrazení informace o teplotě vinutí statoru pohonu vřetene na displeji řídicího panelu je proto velmi přínosné, a na rozdíl od různých snímačů výkonu nebo krouticího momentu, cenově nenáročné řešení, při kterém jsme schopni nepřímo posoudit stav ostří VBD a nastavení řezných podmínek.

ZÁVĚR

V této bakalářské práci je popsána možnost obrábění rozměrného dílu nebo součásti, která je pevně zabudována do technologie a to v prostorách primárního okruhu jaderné elektrárny Dukovany.

U obrábění těchto dílů je v první řadě kladen důraz na bezpečnost a kvalitu oprav, ale nemůže být opomenut ani čas, který tato oprava a související operace vyžadují. Například u opravy poškozené těsnicí plochy rozměrné součásti, která je kontaminována radioaktivními látkami, zabere vlastní obrábění jen zlomek času, který by v případě nemožnosti provedení opravy v kontrolovaném pásmu představoval. Náročná by v tomto případě byla dekontaminace pod požadované limitní hodnoty pro možnost vývozu z kontrolovaného pásma (poté by byla možnost obrábět kdekoliv, ale dekontaminovat díly na tyto hodnoty není často možné) nebo případná přeprava aktivních dílů, která by musela být realizována specializovanou společností v režimu ADR. Přepravované díly musí v tomto případě splňovat kritéria ADR a interní předpisy ČEZ-EDU, což pro přepravu vyžaduje speciální obalový soubor a potřebné povolení. Tyto možnosti jsou tedy časově velmi náročné a to jak z pohledu dekontaminace, logistiky, tak z pohledu vyřízení nezbytné dokumentace.

Pro výše popsané důvody bylo vybráno řešení, které spočívá v obrábění mobilním, číslicově řízeným soustruhem EFCO TDF-2 NC, který má široké využití při opravách a různých konstrukčních úpravách rozměrných dílů nebo pevně instalovaných komponent.

Při původním návrhu mobilního soustruhu byl sice výrobcem navrhnut nižší, a tím pádem nedostatečný krouticí moment na vřetení stroje o velikosti 390 Nm, ale po výpočtech řezných sil při obrábění požadovaných aplikací, byla s výrobcem soustruhu dohodnuta úprava převodovky stroje. Tato modifikace spočívala v překonfigurování převodovky tohoto zařízení na dvojnásobný krouticí moment na vřetení, tedy 780 Nm, čímž je možné dosáhnout lepších výsledků.

Využití mobilního soustruhu je tedy vhodným řešením, jelikož doprava obráběné součásti na konvenční obráběcí stroje je velice komplikovaná, anebo dokonce nemožná, jako v případě tepelného výměníku systému TQ, který je napevno zabudován k navazující technologii v prostorách primárního okruhu, tak z pohledu dekontaminace rozměrných dílů pod vyžadované limitní hodnoty, která je často nereálná.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Výroba elektřiny: Technologie a bezpečnost. ČEZ A.S. *Skupina ČEZ* [online]. [vid. 2015-04-21]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/jaderne-elektrarny-cez/edu/technologie-a-zabezpeceni.html#p1>
2. ČEZ A.S. *UČEBNÍ TEXTY PRO PŘÍPRAVU PERSONÁLU JE: PRIMÁRNÍ ČÁST JE VVER 440 – OBRÁZKOVÁ ČÁST* [dokument pdf]. 2007, 171 s. [vid. 25-2-2015].
3. ČEZ A.S. *UČEBNÍ TEXTY PRO PŘÍPRAVU PERSONÁLU JE: PRIMÁRNÍ ČÁST JE VVER 440 – TEXTOVÁ ČÁST* [dokument pdf]. 2007, 171 s. [vid. 25-2-2015].
4. ČR. Atomový zákon. In: *ZÁKON č. 18/1997 Sb.* 1997. Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/zakony/Atomovy_zakon_20150107.pdf
5. ČR. VYHLÁŠKA SÚJB. In: *132/2008 Sb.* 2008. Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/16_132_2008_Sb.pdf
6. ČR. VYHLÁŠKA SÚJB. In: *309/2005 Sb.* 2005. Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/14_309_2005_Sb.pdf
7. ČR. VYHLÁŠKA SÚJB. In: *307/2002 Sb.* 2002. Dostupné z: http://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/7_307_2002_Sb.pdf
8. ČR. Řízení stárnutí zařízení jaderných elektráren: Bezpečnostní návod. In: *JB-2.1.* 2010. Dostupné z: https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/dokumenty/publikace/G-I-rizene_starnuti_zarizeni_JE.pdf
9. NTD A.S.I. *Normativně Technické Dokumentace Asociace strojních inženýrů.* A.S.I. 2013. Dostupné z: <http://www.asicr.cz/>
10. ГОСТ 5632-72. *Vysokolegované korozivzdorné a žáruvzdorné oceli.* 1. vyd. Moskva, 1975. Dostupné z: <http://www.gosthelp.ru/gost/gost42169.html>
11. EFCO. *Návodů k obsluze: Mobilní soustruh TDF-2 NC.* Düren-Německo, 2015.
12. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky.* 1. české vyd. Překlad Miroslav Kudela. Praha: Scientia, c1997, 1 sv. (různé stránkování). ISBN 91-972-2994-6.
13. Znalosti a zkušenosti: Měrná řezná síla. In: *Sandvik Coromant: Sandvik Coromant Czech Republic* [online]. [vid. 2015-04-21]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/workpiece_materials/the_specific_cutting_force/pages/default.aspx
14. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje.* Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
15. SANDVIK COROMANT. *Technická příručka: Sandvik coromant.* 2012 [vid. 18-2-2015]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/pages/default.aspx>
16. Elektronický katalog: soustružení / zapichování. ISCAR ČR S.R.O. *ISCAR Cutting Tools* [online]. [vid. 2015-03-16]. Dostupné z: <http://www.iscar.com/eCatalog/Index.aspx>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
ADR	accord dangereuses route (dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí)
AZ	aktivní zóna
EDU	elektrárna Dukovany
ETE	elektrárna Temelín
GOST	Ruská státní norma
H₃BO₃	kyselina boritá
HB	tvrdost podle Brinella
HCČ	hlavní cirkulační čerpadlo
HCP	hlavní cirkulační potrubí
HUA	hlavní uzavírací armatura
I.O.	primární okruh
II.O.	sekundární okruh
KK	kontrolovaná komponenta
KP	kontrolované pásmo
MKP	metoda konečných prvků
NTD A.S.I.	národní technická dokumentace asociace strojních inženýrů
PCČ	pomocné cirkulační čerpadlo
PKZ	plán kontrol a zkoušek
PPO	pracovní postup opravy
PT	kapilární kontrola
PVD	Physical Vapour Deposition
PWR	tlakovodní reaktor
PZRO	program zajištění radiační ochrany
RK	rozměrová kontrola
SK	slinutý karbid
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
VBD	výměnná břitová destička
VT	vizuální kontrola
VVER	vodou chlazený, vodou moderovaný energetický reaktor
WENRA	Western European Nuclear Regulators Association (Asociace západoevropských jaderných dozorů)

Symbol	Jednotka	Popis
D	[m]	maximální obráběný průměr
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
F_c	[N]	řezná síla
M_k	[Nm]	krouticí moment
R_a	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
R_m	[MPa]	pevnost v tahu
R_{p0,2}	[MPa]	smluvní mez kluzu
T	[°C]	teplota
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
f	[mm]	posuv na otáčku
h_m	[mm]	tloušťka třísky
k_c	[MPa]	měrná řezná síla
mc	[-]	konstanta zohledňující vlastnosti obráběného materiálu
k_{c1}	[MPa]	měrná řezná síla potřebná pro oddělení třísky o průřezu 1 mm ²
v_c	[m·min ⁻¹]	řezná rychlost
λ	[W m ⁻¹ K ⁻¹]	součinitel tepelné vodivosti
γ₀	[°]	úhel čela VBD v ortogonální rovině

SEZNAM PŘÍLOH

- | | |
|-----------|---|
| Příloha 1 | Parametry hlavního cirkulačního čerpadla |
| Příloha 2 | Základní obecně užitečné hlediska a doporučení při obrábění korozivzdorných ocelí |
| Příloha 3 | Tabulka hodnot měrné řezné síly k_{c1} a exponentu m_c , rozdělená dle materiálových skupin korozivzdorných ocelí |

PŘÍLOHA 1

Parametry hlavního cirkulačního čerpadla [3].

TECHNICKÝ POPIS ZAŘÍZENÍ	
Typ čerpadla	GCN - 317
Průtok	7100 m ³ ·hod ⁻¹
Teplota chladiva I.O.	267 ± 2 °C
Tlak na sání	12,11 MPa
Δp	0,425 ± 0,025 MPa
Příkon potřebný k práci čerpadla s horkým chladivem I.O.	1,4 MW
Příkon potřebný k práci čerpadla se studeným chladivem I.O.	1,6 MW
Směr otáčení při pohledu shora	vpravo
Organizovaný tlakový únik za hlavními stupni ucpávek HCČ	0,3 - 2 m ³ ·hod ⁻¹
Únik těsnicí vody do I.O.	0 - 0,4 m ³ ·hod ⁻¹
Organizovaný beztlakový únik za koncovým stupněm ucpávky HCČ	0 - 0,05 m ³ ·hod ⁻¹
Hydraulický odpor trasy VO HCČ	max. 0,245 MPa
Průtok oleje pro mazání - nosné radiálně-axiální ložisko HCČ	12 m ³ ·hod ⁻¹
Průtok oleje pro mazání - elektropohon HCČ	3 m ³ ·hod ⁻¹
Typ elektromotoru	AVC 1600 - 1500 V5
Výkon	1,6 MW
Napětí	6 kV
Proud statoru	183 A
Kmitočet napájecí sítě	50 Hz
Otáčky	1500 min ⁻¹
Účinnost při výkonu 1,6 MW	94,5 %
Účinnost při výkonu 1,35 MW	93,0 %
Účinník (cosφ) při výkonu 1,6 MW	0,89
Účinník (cosφ) při výkonu 1,35 MW	0,87
Elektromagnet HCČ	xYD1xZ01
Jmenovité napětí ss proudu pro napájení elektromagnetického odlehčovacího zařízení HCČ	220 V
Příkon elektromagnetu HCČ	1,7 kW

PŘÍLOHA 2

Základní obecně užitečné hlediska a doporučení, které by měly být brány v úvahu při obrábění korozivzdorných ocelí [12].

Přednostní nasazení strojů stabilní konstrukce. Vysoká tuhost stroje a spolehlivost chodu vřetene jsou velmi důležité.
Nástroje a obrobky musí být pokud možno co nejstabilněji upnuty. Nutno dbát na dodržení co nejmenšího vyložení nástroje.
Nutno zvolit vhodný poloměr špičky pro dané použití. Nadměrně velký poloměr špičky zvyšuje nebezpečí vibrací.
Menší, ale ještě dostatečně stabilní poloměr má za následek mnohonásobně lepší kontrolu třísky a nízké řezné síly.
Použit geometrii břitu, která slučuje vysokou odolnost břitu s dostatečnou spolehlivostí ostří. Druh materiálu a geometrie břitu by měly být zvoleny tak, aby byly co nejlépe vzájemně sladěny s daným druhem obrábění.
Proti plastické deformaci břitu zvolit větší poloměr špičky.
Použit dostatečně velký pozitivní úhel čela a velký úhel hřbetu. Malé zaoblení ostří může optimalizovat ostrost břitu.
Pro soustružení použít odpovídající procesní kapalinu. Kapalina by měla být přiváděna do místa obrábění v dostatečném množství, aby se usnadnil odvod tepla ze zóny obrábění.
Důležité je zvolit takovou geometrii břitu, která umožní udržet kontaktní tření mezi třískou a čelem na co nejmenší možné míře.
Při hrubování použít větší šířky záběru ostří a posuvy společně s redukovanou řeznou rychlostí; menší šířky záběru ostří a posuvy při vysokých řezných rychlostech jsou spíše nevýhodné.
Při hrubování a středním obrábění nutno dbát na to, aby pro následující dokončovací operaci zůstal dostatečný přídavek na obrábění. Je to nutné proto, aby nástroj neřezal v zóně, ve které má ocel sklon k deformačnímu vytvrzení.
Nutno dbát na to, aby nedocházelo k příliš velkému opotřebení hřbetu. Opotřeбенý břit řeze hůře a způsobuje rychlé vytvrzení materiálu obrobku – tvrdost až 500 HB není v takových případech žádnou zvláštností. Nástroj pro dokončovací deformace je tím dost značně deformován.

PŘÍLOHA 3

Tabulka hodnot měrné řezné síly k_{c1} a exponentu m_c , rozdělená dle materiálových skupin korozivzdorných ocelí [13].

MC kód	Materiálová skupina	Materiálová podskupina	Způsob výroby	Tepelné zpracování	nom.	Měrná řezná síla, k_{c1} (N/mm ²)	m_c
P5.0.Z.AN	korozivzdorné oceli feritické/martenzitické	0 hlavní skupina	Z kované/válcované/tvářené za studena/tažené	AN žíhané	200 HB	1800	0.21
P5.0.Z.HT			Z kované/válcované/tvářené za studena/tažené	HT kalené+popuštěné	330 HB	2300	0.21
P5.0.Z.PH			Z kované/válcované/tvářené za studena/tažené	PH precipitačně vytvrzené	330 HB	2800	0.21
P5.0.C.UT			C odlévané	UT v původním stavu	250 HB	1900	0.25
P5.0.C.HT			C odlévané	HT kalené+popuštěné	330 HB	2100	0.25
P5.1.Z.AN		5	1 snadno obrobitelné oceli	Z kované/válcované/tvářené za studena	AN žíhané	200 HB	1650
M1.0.Z.AQ	austenitické	0 hlavní skupina	Z kované/válcované/tažené za studena	AQ žíhané/rychle zchlazené nebo žíhané	200 HB	2000	0.21
M1.0.Z.PH			Z kované/válcované/tažené za studena	PH precipitačně vytvrzené	300 HB	2400	0.21
M1.0.C.UT			C odlévané	UT v původním stavu	200 HB	1800	0.25
M1.1.Z.AQ		1 se zlepšenou obrobitelností (např. SANMAC)	Z kované/válcované/tažené za studena	AQ žíhané/rychle zchlazené nebo žíhané	200 HB	2000	0.21
M1.1.Z.AQ		2 snadno obrobitelné oceli	Z kované/válcované/tažené za studena	AQ žíhané/rychle zchlazené nebo žíhané	200 HB	1800	0.21
M1.3.Z.AQ		3 stabilizované Ti	Z kované/válcované/tažené za studena	AQ žíhané/rychle zchlazené nebo žíhané	200 HB	1800	0.21
M1.3.C.AQ		3 stabilizované Ti	C odlévané	AQ žíhané/rychle zchlazené nebo žíhané	200 HB	1800	0.25
M2.0.Z.AQ	superaustenitické, Ni>20%	0 hlavní skupina	Z kované/válcované/tažené za studena	AQ žíhané/rychle zchlazené nebo žíhané	200 HB	2300	0.21
M2.0.C.AQ			C odlévané	AQ žíhané/rychle zchlazené nebo žíhané	200 HB	2150	0.25
M3.1.Z.AQ	duplexní (austenitické/feritické)	1 >60% feritu (přibližně N<0.10%)	Z kované/válcované/tažené za studena	AQ žíhané/rychle zchlazené nebo žíhané	230 HB	2000	0.21
M3.1.C.AQ		1 >60% feritu (přibližně N<0.10%)	C odlévané	AQ žíhané/rychle zchlazené nebo žíhané	230 HB	1800	0.25
M3.2.Z.AQ		2 <60% feritu (přibližně N>0.10%)	Z kované/válcované/tažené za studena	AQ žíhané/rychle zchlazené nebo žíhané	260 HB	2400	0.21
M3.2.C.AQ		2 <60% feritu (přibližně N>0.10%)	C odlévané	AQ žíhané/rychle zchlazené nebo žíhané	260 HB	2200	0.25